การศึกษาผลของการทำแห้งต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข่า

ณัฐรินทร์ อุปฐานา
ศศิวิมล ไชยศิวามงคล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การศึกษาผลของการทำแห้งต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข่า

ณัฐรินทร์ อุปฐานา

ศศิวิมล ไชยศิวามงคล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

Effects of drying on physical and chemical properties of galangal

MISS NUTTARIN UPATANA
MISS SASIWIMOL CHAISIWAMONGKOL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERNG

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาผลของการทำแห้งต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข่า

จัดทำโดย นางสาวณัฐรินทร์ อุปฐานา รหัสประจำตัว 54010447
นางสาวศศิวิมล ไชยศิวามงคล รหัสประจำตัว 54011261

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร. อภินันท์ นัมคณิสรณ์)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร. เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์)

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาผลของการทำแห้งต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข่า
จัดทำโดย นางสาวณัฐรินทร์ อุปฐานา รหัสประจำตัว 54010447
นางสาวศศิวิมล ไชยศิวามงคล รหัสประจำตัว 54011261
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

ข่าเป็นพืชสมุนไพรที่ปลูกมากในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ภายในเหง้าข่ามีสารสำคัญที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ และสาร1'- อะซีทอกซีคาวิคอล อะซีเตท (ACA) ที่สามารถยับยั้งเชื้อ *Mycobacterium tuberculosis* ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดวัณโรคได้ จึงมีการนำข่าสดมาใช้ประกอบอาหารหรือทำยา การทำแห้งข่าจะทำให้สามารถเก็บรักษาข่าได้นานยิ่งขึ้น นอกจากนี้ การสกัดสารสำคัญออกจากข่าทำแห้งด้วยตัวทำละลายเป็นอีกวิธีในการนำข่าไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมระดับครัวเรือน เกษตรกรนิยมใช้เครื่องทำแห้งแบบถาดเนื่องจากมีต้นทุนค่าเครื่องต่ำ และใช้งานง่าย แต่คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้จะต่ำ เนื่องจากสภาวะและเวลาในการทำแห้งไม่เหมาะสม งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาผลของสภาวะการทำแห้งข่าด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยใช้ข่าจากจังหวัดมหาสารคามซึ่งมีปริมาณสารACA สูง ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 45 และ 75 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 0.5 และ 1.5 เมตรต่อวินาที และความชื้นสัมพัทธ์อากาศร้อยละ 15 และ 70 แล้วนำข่าที่ถูกทำแห้งเป็นเวลา 180 นาที ไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ อัตราการคืนตัว การศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และการวัดสี ส่วนการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีได้แก่ การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และสารACA จากผลการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิสูง ความเร็วลมสูง และความชื้นสัมพันธ์ในอากาศต่ำทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อย แต่ทำให้สารสำคัญในข่าเสื่อมสลายมาก สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งข่าคือ อุณหภูมิต่ำ ความเร็วลมต่ำ และความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่ำ เนื่องจากโครงสร้างเซลล์ของข่าถูกทำลายน้อย ข่าแห้งมีพื้นผิวหดตัวน้อย มีรูพรุน มีความสามารถในดูดน้ำกลับหรืออัตราการคืนตัวที่ดี ค่าความแตกต่างของสีต่ำเมื่อเทียบกับการทำแห้งที่อุณหภูมิสูง และยังมีปริมาณสารสำคัญต่างๆคงเหลือสูงสุด ได้แก่ ค่าการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และสารACA เท่ากับ 79.17 เปอร์เซ็นต์ 914 ไมโครกรัมต่อกรัม และ 4,053 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

คำสำคัญ: การทำแห้ง ข่า เครื่องอบแห้งแบบถาด สารต้านอนุมูลอิสระ สาร1'-อะซีทอกซีคาวิคอล อะซีเตท

Report Title	Effects of drying on physical and chemical properties of galangal
By	Ms. Nuttarin Upatana ID.NO. 54010447
	Ms. Sasiwimol Chaisiwamongkol ID.NO. 54011261
Advisor	Siripan Murathathunyaluk
Report for	Bachelor Degree of Chemical Engineering
	Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Year	2014

ABSTRACT

Galangal (or "Kha" in Thai) is herb which is planted in south-east Asia. Its Rhizome is rich in antioxidant and 1'-Acetoxychavicol Acetate (ACA) which can resist *Mycobacterium tuberculosis* that cause infection of tuberculosis. Galangal is commonly used in cooking or drug producing. Drying provides more extension of shelf life of galangal. Furthermore, Solvent extraction is another method to use galangal in cottage industry. The agriculturist often uses tray dryer because of low cost and simple operation, but condition and time of drying which are unsuitable cause low quality of dried product. Therefore, the objective of this research is study the effect of condition of drying galangal using tray dryer in order to increasing quality. Old galangal from Mahasarakham province were used because the ACA substance is high. Experiments were conducted on following condition: drying temperature of 45 and 75 degree Celsius, air velocity of 0.25, 0.5 and 1.5 meter per second and relative humidity of air of 15 and 70 percent. The dried galangal which were dried for 180 minutes were analyzed properties. Physical properties analysis are rehydration, study of microstructure by scanning Electron Microscope and color measurement. Chemical properties analysis are antioxidant, Total phenolic compound and the ACA substance. The results indicated that drying at high temperature, high velocity and low relative humidity of air were effective for drying. Drying at high temperature had short drying time but it caused decomposition of useful substances. The suitable condition of drying were low temperature, low velocity and low relative humidity of air. Due to the cell structure of galangal was slightly destroyed, dried galangal had slightly twisted surface, there were pores within dried product and good rehydration. The different of color was less. Moreover, the retained substances were highest. The dried galangal had antioxidant of 79.17 percent, Total phenolic compound of 914 µg/g and the ACA substance of 4,053 µg/g

Key words: 1'-Acetoxychavicol Acetate, Antioxidant, Drying, Galangal, Tray dryer

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์ และบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ

อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือ คำแนะนำ คำปรึกษา คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดี รวมทั้งยังตรวจแก้รายงานให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผศ.ดร.อภินันท์ นัมคณิสรณ์ อาจารย์ภาควิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้ คำแนะนำเพิ่มเติม ทำให้โครงงานนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

คณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้

คุณเอกราช บำรุงไทยไชยชาญ และคุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์ และอำนวยความสะดวกตลอดการทำปริญญานิพนธ์

คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์ และอำนวยความสะดวกตลอดการทำปริญญานิพนธ์

บิดา มารดา ของผู้จัดทำที่ให้การสนับสนุนการศึกษาและให้กำลังใจตลอดการทำปริญญานิพนธ์

คุณค่าและประโยชน์จากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำต้องขออภัยและพร้อมน้อมรับ ณ ที่นี้

ผู้จัดทำ

นางสาวณัฐรินทร์ อุปฐานา

นางสาวศศิวิมล ไชยศิวามงคล

สัญลักษณ์

X_t	ปริมาณความชื้น (moisture content)
W	น้ำหนักของวัสดุทั้งหมด
W_s	น้ำหนักแห้ง
a_w	แอคทิวิตี้ของน้ำ (Water activity)
C_o	ค่า chroma แสดงถึงค่าความเข้ม
h_o	ค่า Hue แสดงถึงความแตกต่างของสีบริสุทธ์ ซึ่งเรียกเป็นชื่อสี เช่น สีแดง สีเขียว เป็นต้น
ΔE	ค่าความแตกต่างของสี
T	อุณหภูมิ (temperature)
v	ความเร็วลม (velocity)
%Rh	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (air relative humidity)
A	พื้นที่หน้าตัด (area)

สารบัญ

สารบัญ

บทที่1 1

บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 2

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 2

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ 2

บทที่ 2 3

ทฤษฎี 3

2.1 ความชื้นในผลิตผลการเกษตร 3

2.2 แอคทิวิตี้ของน้ำ 4

2.3 การทำแห้ง 5

2.4 การทำแห้งแบบผสมผสาน 7

2.5 ข้อมูลของข่า 9

2.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ 11

2.7 วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของข่า 12

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13

บทที่ 3 17

วิธีดำเนินการทดลอง 17

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี 17

3.2 วิธีการทดลองการทำแห้งข่า 18

3.2.2 การทดลอง 18

3.3 วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ 19

3.4 วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี 20

บทที่ 4 22
ผลการทดลอง 22
4.1 สภาวะที่เหมาะสมต่อการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด 22
4.2 ผลของสภาวะในการทำแห้งต่อลักษณะทางกายภาพของข่า 26
4.2 ผลของสภาวะในการทำแห้งต่อลักษณะทางกายภาพของข่า 26
4.3 ผลของสภาวะในการทำแห้งต่อปริมาณสารสำคัญของข่า 30
บทที่ 5 31
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง 31
5.1 สรุปผลการทดลอง 31
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง 31
ภาคผนวก ก 32
ข้อมูลดิบ 32
ภาคผนวก ข 34
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอคทิวิตี้ของน้ำและปริมาณความชื้น 34
ภาคผนวก ค 36
การคำนวณในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข่า 36
ภาคผนวก ง 40
ชุดการทดลองอบแห้ง 40
อ้างอิง 42

สารบัญรูป

สารบัญรูป

บทที่ 2 3

รูปที่ 2.1 น้ำอิสระและน้ำผูกพัน 3

รูปที่ 2.2 แสดงการเคลื่อนที่ของน้ำระหว่างการทำแห้ง 5

รูปที่ 2.3 กราฟแสดงอัตราการทำแห้ง 6

รูปที่ 2.5 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลที่พบในธรรมชาติ 10

รูปที่ 2.6 โครงสร้างโมเลกุลของสาร สาร 1 - Acetoxychavicol Acetate (ACA) 10

บทที่ 4 22

รูปที่ 4.1 กราฟการทำแห้งของข่าด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่สภาวะต่างๆ 23

รูปที่ 4.2 กราฟการทำแห้งของข่าด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่ความเร็วลมต่างๆ 24

รูปที่ 4.3 กราฟการทำแห้งของข่าด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่างๆ 25

รูปที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของข่าทำแห้งก่อน-หลังดูดน้ำกลับ 27

รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของข่าทำแห้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 100เท่า 28

รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของข่าทำแห้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 500เท่า 28

ภาคผนวก ข 34

รูปที่ ข.1 กราฟระหว่างปริมาณความชื้นกับแอคทิวิตี้ของน้ำ 35

ภาคผนวก ค 36

รูปที่ ค.1 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นสารฟีนอลิกมาตรฐาน 36

รูปที่ ค.2 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นของสารACAบริสุทธิ์กับค่าการดูดกลืนแสง 38

ภาคผนวก ง 40

รูปที่ ง.1 ชุดการทดลองทำแห้ง 41

สารบัญตาราง

สารบัญตาราง

บทที่ 2 3

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของค่าแอคทิวิตี้ของน้ำขั้นต่ำสุดกับการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ 5

บทที่ 3 17

ตารางที่ 3.1 แสดงสภาวะการอบแห้งข่า 18

บทที่ 4 22

ตารางที่ 4.1 แสดงอัตราการคืนตัวของข่าทำแห้งที่สภาวะต่างๆ 26

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าจากการวัดสีของข่าอบแห้งที่สภาวะต่างๆ 29

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารสำคัญในข่าอบแห้งเป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่สภาวะต่างๆ 30

ภาคผนวก ก 32

ตารางที่ ก.1 แสดงน้ำหนักข่าหลังการทดลองอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่เวลาและสภาวะต่างๆ 32

ตารางที่ ก.2 แสดงน้ำหนักข่าในการทดลองดูดน้ำกลับ 33

ภาคผนวก ก 34

ตารางที่ ข.1 แสดงสภาวะการอบแห้ง น้ำหนัก ค่าแอคทิวิตี้ของน้ำและปริมาณความชื้นของข่าจากการทดลองอบแห้งด้วยตู้อบ 35

บทที่1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ทางด้านอาหารหรือยามักมีส่วนประกอบของสารเคมีสังเคราะห์ เมื่อได้รับสารเคมีเข้าสู่ร่างกายมากเกินไปในระยะเวลานานอาจเกิดการตกค้างของสารเคมีในร่างกาย ทำให้เกิดผลเสียทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ผู้คนจึงให้ความสนใจกับการใช้สมุนไพรแทนสารเคมีสังเคราะห์ซึ่งมีคุณประโยชน์ไม่ต่างกันและส่งผลข้างเคียงน้อยเมื่อเทียบกับสารเคมี นอกจากนี้ยังสามารถหาได้ง่าย ราคาไม่แพง เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อยาหรือสารเคมีสังเคราะห์ราคาแพงจากต่างประเทศ ในสมุนไพรชนิดหนึ่งๆจะมีสารสำคัญหลายชนิดสามารถรักษาได้หลายโรค จึงมีการศึกษาและการวิจัยผสมผสานทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับสมุนไพรเพิ่มขึ้น ทั้งส่วนประกอบของสารสำคัญ ฤทธิ์ยา ประสิทธิภาพ ความปลอดภัยในการใช้ และพิษของสมุนไพร จากงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับสารสำคัญในสมุนไพรไทยจำนวน 30 ชนิด พบว่า ข่ามีกรดคูมาริก (p-coumaric acid), สารต้านอนุมูลอิสระ(antioxidant) และสารยับยั้งแอลฟากลูโคซิเดส (Alpha-Glucosidase) ในปริมาณมากเมื่อเทียบสมุนไพรชนิดอื่น[1] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่นๆที่พบสารสำคัญในข่า เช่น สารอะซีทอกซีคาวิคอล อะซีเตท(1'- acetoxychavicol acetate: ACA), ฟลาโวนอยด์(Flavonoids) และกรดฟีนอลิก(Phenolic acid) ซึ่งสารp-coumaric acid เป็นสารประกอบฟีนอลที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถใช้ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ลิพิดออกซิเดชัน ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเสื่อมสภาพระหว่างการเก็บหรือกระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น การเสื่อมของรสชาติ การเปลี่ยนแปลงสี การเสียสมบัติเชิงริโอโลยี หรือการเกิดองค์ประกอบที่เป็นพิษ[1,2,3] ส่วนสารยับยั้ง Alpha-Glucosidase ช่วยชะลอการดูดซึมกลูโคสเข้าสู่กระแสเลือด ชะลอการเพิ่มของระดับน้ำตาลในกระแสเลือด สามารถนำไปใช้เพื่อการรักษาโรคเบาหวานชนิดไม่พึ่งพาอินซูลินได้[1] และสารACA สามารถยับยั้งเชื้อวัณโรคซึ่งมีแนวโน้มดื้อยา[4] จึงมีการนำข่ามาใช้ประกอบอาหารหรือทำยาโดยใช้เหง้าสด และใช้วิธีทำแห้งเพื่อถนอมอาหารแล้วบดเป็นผงหรือทำเป็นสารสกัดจากข่าทำแห้งทำให้เก็บรักษาไว้ได้นานยิ่งขึ้น แต่เมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งแล้ว ทำให้สารสำคัญในข่าสลายตัวไปมาก ส่งผลให้ต้องบริโภคหรือใช้เป็นส่วนผสมจำนวนมาก ทั้งนี้ ปัจจัยที่มีผลต่อสารสำคัญคือ วิธีการสกัดและการทำแห้ง ซึ่งจากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การสกัดด้วยวิธีใช้เอทานอลจะช่วยเก็บรักษาสารสำคัญไว้ได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ[5] กระบวนการทำแห้งที่ดีจะช่วยรักษาสารสำคัญ โดยคำนึงถึงสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง เช่น อุณหภูมิที่ใช้ทำแห้ง รูปแบบของการทำแห้ง เป็นต้น เพื่อให้การทำแห้งมีประสิทธิภาพสูงขึ้นจึงจำเป็นต้องมีการทดลองทำแห้งในสภาวะต่างๆ เพื่อคงสารสำคัญไว้ให้ได้มากที่สุด จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาผลของการทำแห้งต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข่า การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ อัตราการคืนตัว (Rehydration) การศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(Scanning Electron Microscope: SEM) และการเปลี่ยนแปลงสี ส่วนการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณ

สารประกอบฟีนอลทั้งหมด(Total phenolic compound) และปริมาณสารACA ด้วยวิธีการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเอทานอล ตัวแปรที่ใช้ในศึกษาการทำแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วอากาศร้อน และความชื้นสัมพัทธ์อากาศ โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดร่วมกับการใช้อากาศความชื้นต่ำเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการแปรสภาพผลผลิตที่ยังคงสามารถรักษาคุณค่าทางอาหารได้ดี ทั้งต้นทุนของอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องอบแห้งแบบถาดมีราคาต่ำ และเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตผลทางการเกษตรมาเป็นอาหารแปรรูประดับอุตสาหกรรมหรือใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ยาได้

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1) เพื่อศึกษาการทำแห้งข่าภายใต้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งแบบถาด

2) เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข่าภายหลังการทำแห้งที่สภาวะต่างๆ

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำแห้ง โดยตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์อากาศ

2) ศึกษาผลของการทำแห้งต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของข่า โดยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ อัตราการคืนตัว การศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และการเปลี่ยนแปลงสี ส่วนการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และปริมาณสารACA

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1) เข้าใจหลักการการทำแห้งและทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้ง

2) เข้าใจวิธีการสกัดสารสำคัญในข่าหลังจากการทำแห้ง

3) สามารถนำผลที่ได้จากการวิจัยมาใช้แปรรูปข่าเป็นอาหารแปรรูประดับอุตสาหกรรมหรือใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ยาเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร

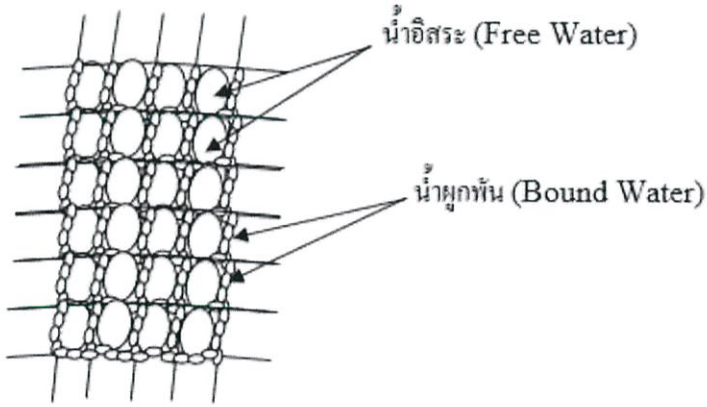
บทที่ 2

ทฤษฎี

การทำแห้ง(Drying) คือ การให้ความร้อนภายใต้สภาวะการควบคุมเพื่อกำจัดน้ำที่มีอยู่ในอาหารหรือวัสดุที่มีโครงสร้างแบบรูพรุนโดยใช้อากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังผลิตภัณฑ์และการถ่ายเทมวลความชื้นจากผลิตภัณฑ์ไปยังอากาศ ความร้อนจากอากาศที่ผลิตภัณฑ์ได้รับไปจะถูกใช้ในการระเหยน้ำจากผลิตภัณฑ์ ทำให้แห้งในลักษณะของชั้นบางที่สภาวะอากาศคงที่ (อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลมร้อน) โดยอาศัยหลักการการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี ซึ่งมีวัตถุประสงค์สำหรับการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่าแอคทิวิตี้-ของน้ำ(Water activity: a_w) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนั้นการทำแห้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าของผลิตผลทางการเกษตรมาเป็นอาหารแปรรูประดับอุตสาหกรรมหรือใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ยาได้ [6]

2.1 ความชื้นในผลิตผลการเกษตร [6]

ปริมาณน้ำในผลิตผลเกษตรส่วนมากจะอยู่ในรูปของน้ำอิสระ(Free water) ซึ่งน้ำอิสระจะแทรกอยู่ระหว่างเซลล์น้ำผูกพัน (Bound Water) คือ น้ำที่แทรกอยู่ตามผนังโครงสร้างของอาหารที่ยึดด้วยกลไกระดับโมเลกุลในอาหาร โดยปริมาณน้ำในผลิตผลเกษตรเป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมคุณภาพของผลิตผลทางการเกษตร



รูปที่ 2.1 น้ำอิสระและน้ำผูกพัน [6]

การแสดงปริมาณความชื้น (Moisture content) ที่อยู่ภายในผลิตผลทางการเกษตรสามารถบอกในรูปของอัตราส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐานแห้ง (Dry basis) ดังสมการ (2.1)

$$\text{Moisture content}\left(X_t\right) = \frac{W - W_s}{W_s} \tag{2.1}$$

เมื่อ X_t = ปริมาณความชื้น(kg H_2O/kg dry solids)

W = น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (kg)

W_s = น้ำหนักแห้งหรือน้ำหนักของของแข็งภายในผลิตผล (kg)

ในการลดความชื้นของผลิตผลเกษตรจะต้องพิจารณาถึงความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) ของวัสดุกับสภาวะแวดล้อม ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุมีค่าอัตราการสูญเสียความชื้นออกสู่สิ่งแวดล้อมและอัตราการรับความชื้นจากสิ่งแวดล้อมเท่ากันที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สมดุลหนึ่งๆ

2.2 แอคทิวิตี้ของน้ำ (Water Activity) [6]

แอคทิติวิตี้ของน้ำ (Water activity: a_w) คือปริมาณน้ำอิสระที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ค่าแอคทิวิตี้ของน้ำสามารถนิยามได้ว่าเป็นความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (Equilibrium relative humidity: ERH) ณ จุดที่อาหารไม่มีการดูดซับหรือสูญเสียน้ำ (Mohsenin, 1996) ค่าแอคทิวิตี้ของน้ำสามารถหาได้จากอัตราส่วนของความดันไอที่มีได้สูงสุด (P) ต่อความดันไอของน้ำ (P_0) ณ อุณหภูมิเดียวกัน ดังสมการที่ (2.2)

$$a_w \times 100 = \%ERH = \frac{P}{P_0} \times 100\% \qquad (2.2)$$

เนื่องจากค่าแอคทิวิตี้ของน้ำบริสุทธิ์ ณ อุณหภูมิใดๆเหนือจุดเยือกแข็งมีค่าเท่ากับ 1.00 ดังนั้นค่าแอคทิวิตี้ของน้ำของอาหารจึงมีค่าอยู่ในช่วง 0-1.00 เช่น อาหารความชื้นสูงจำพวก ผักและผลไม้จะมีค่าสูงกว่า 0.97 สำหรับอาหารความชื้นปานกลางจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.6-0.9 และสำหรับอาหารแห้ง เช่น ขนมปัง นมผง กาแฟสำเร็จรูป ค่าแอคทิวิตี้ของน้ำจะต่ำกว่า 0.6เป็นต้น

ค่าแอคทิวิตี้ของน้ำมีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อคุณสมบัติต่างๆของอาหาร เช่น ในการป้องกันเชื้อราขึ้นบนเนยแข็ง ควรจะต้องควบคุมค่าแอตติวิตี้ของน้ำให้ต่ำกว่า 0.93 สำหรับเนยแข็งเช็ดดา (Chedda cheese) สำหรับเนยแข็งที่มีอายุปานกลาง จะต้องให้ต่ำกว่า 0.92 ส่วนเนยแข็งเก่าจะต้องให้ต่ำกว่า 0.89 เป็นต้นไป ส่วนใหญ่แล้ว การถนอมอาหารจะใช้วิธีการลดค่าแอคทิวิตี้ของน้ำให้ต่ำลง ซึ่งจะจำกัดปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อปฏิกิริยาต่างๆ ที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพ เช่น ปฏิกิริยาเคมีแบบ Enzymatic, Non-enzymatic, Lipid oxidation รวมไปถึงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เป็นต้น

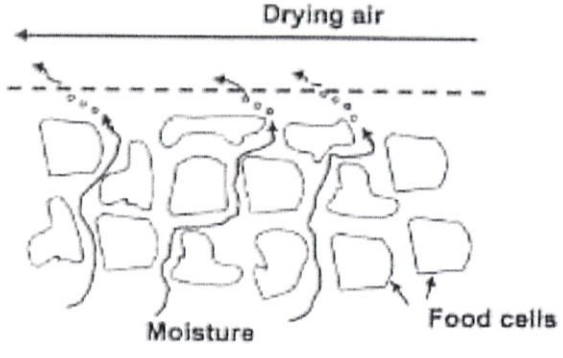
ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของค่าแอคทิวิตี้ของน้ำขั้นต่ำสุดกับการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ [6]

ชนิดจุลินทรีย์	ค่าแอคทิวิตี้ของน้ำขั้นต่ำ
แบคทีเรีย	0.91
ยีสต์	0.88
แบคทีเรียชนิดทนเกลือได้ดี	0.75
เชื้อราชนิดทนแห้งได้ดี	0.61
ยีสต์ชนิดทนน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงได้ดี	0.60
Achromobacter	0.96
Aerobacteraerogense	0.95
Bacillus subtilis	0.95
Clostridium botulinum	0.95
Escherichia coli	0.96
Pseudomona	0.97
Staphylococcus aureus	0.86
Saccharomyces rouxii	0.62
Salmonella	0.95

2.3 การทำแห้ง (Drying)

2.3.1 กลไกการทำแห้ง [6]

การทำแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นวัสดุจนถึงระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ เพื่อทำให้วัสดุมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา ด้วยการถ่ายเทความร้อนและมวลสารไปพร้อมๆกัน โดยทั่วไปแล้ว การทำแห้งมักจะใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลาง (Drying medium) ในการพาความชื้นออกไปจากวัสดุ ดังนั้นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่ออัตราการทำแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราการไหลของอากาศร้อน ด้วยเหตุนี้ปรากฏการณ์หลักที่เกิดขึ้นกับการทำแห้งด้วยลมร้อนคือการถ่ายเทความร้อนและมวลสารระหว่างวัสดุและของไหล ที่อาศัยแรงขับจากความต่างศักย์ของอุณหภูมิและความชื้น กล่าวคือความร้อนสัมผัสจากของไหลจะถ่ายเทสู่วัสดุ ทำให้ความชื้นระเหยออกไปกับอากาศ ในขณะเดียวกันไอน้ำก็จะเคลื่อนที่จากผิวหน้าวัสดุไปยังอากาศ ดังรูปที่ 2.2



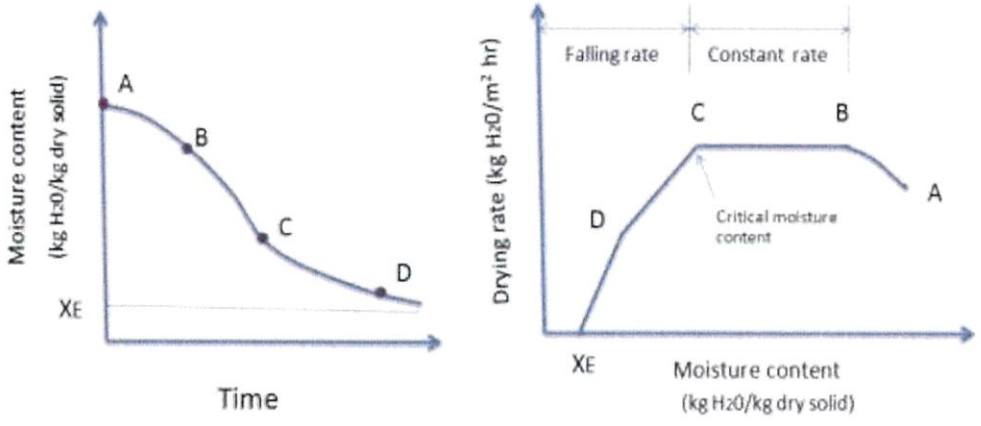
รูปที่ 2.2 แสดงการเคลื่อนที่ของน้ำระหว่างการทำแห้ง [1]

การเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุมีผลต่ออัตราการทำแห้ง (Drying rate) โดยแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ซึ่งสามารถอธิบายดังรูปที่ 2.2 ดังนี้

1) ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (Initial Adjustment Period -AB) เป็นช่วงที่ความชื้นเริ่มต้น (A) ของวัสดุยังสูงอยู่และเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างลมร้อนกับวัสดุทำให้อุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature) ของลมร้อนที่ใช้เป็นตัวกลางหลังจากนั้นอัตราการทำแห้งจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงช่วงอัตราทำแห้งคงที่ (constant rate)

2) ช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ (Constant Rate Period-BC) เป็นช่วงที่น้ำภายในวัสดุเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้าและได้รับความร้อนจากลมร้อนทำให้น้ำในวัสดุมีการระเหยอย่างต่อเนื่อง โดยการเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุจะมีผลต่ออัตราการทำแห้งถ้าวัสดุมีเนื้อโปร่งการเคลื่อนที่ด้วยการไหลผ่านช่องแคบ (Capillary) น้ำจะเคลื่อนที่มาที่ผิวได้เร็วกว่าการระเหยกลายเป็นไอ ทำให้ผิววัสดุเปียกชุ่มด้วยน้ำ การระเหยเป็นไปอย่างอิสระด้วยอัตราเร็วคงที่ จากนั้นความชื้นของวัสดุจะลดลงจนกระทั่งถึงจุดสุดท้ายของช่วงการทำแห้งคงที่ ซึ่งอัตราเร็วในการทำแห้งจะเริ่มลดลง โดยจะเรียกความชื้นของวัสดุ ณ จุดเปลี่ยนแปลงระหว่างอัตราการทำแห้งคงที่ และอัตราการทำแห้งลดลงว่า ความชื้นวิกฤต (critical moisture content)

3) ช่วงอัตราการทำแห้งลดลง (Falling Rate Period CD และ DE) เป็นช่วงที่ความชื้นในวัสดุเหลือน้อยจนน้ำแพร่ไปยังผิวหน้าได้ไม่ต่อเนื่องทำให้ผิวหน้าของอาหารเริ่มแห้งส่งผลให้อุณหภูมิที่ผิวของอาหารสูงขึ้นและอัตราการทำแห้งลดลง โดยความชื้นจะลดลงเรื่อยๆจนมีความชื้นต่ำสุดเรียกว่า ค่าความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content, X_E) ที่ความชื้นนี้อัตราการทำแห้งจะเป็นศูนย์ ซึ่งน้ำในวัสดุจะไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก สำหรับวัสดุที่มีเนื้อแน่นน้ำเคลื่อนที่ได้ช้าจะมีเฉพาะ ช่วงอัตราการทำแห้งจะลดลงเท่านั้น



(ก) (ข)

รูปที่ 2.3 กราฟแสดงอัตราการทำแห้ง

(ก) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา

(ข) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำแห้งกับปริมาณความชื้น [6]

2.3.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการทำแห้ง [6]

1) ลักษณะธรรมชาติของอาหาร

อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุนมีความพรุน(porosity) มากจะมีอัตราการทำแห้งเร็ว เนื่องจากน้ำในอาหารสามารถเคลื่อนจากภายในออกมาภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้อาหารที่มีพื้นที่ผิวมากอัตราการทำแห้งสามารถเกิดได้เร็วเช่นกัน เพราะพื้นที่การระเหยของน้ำในวัสดุเพิ่มขึ้นมาก

2) ขนาด รูปร่าง ปริมาตร และพื้นที่ผิวของอาหาร

เป็นสมบัติทางกายภาพของอาหารของอาหารที่มีผลต่อการทำแห้งอาหารที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากจะมีพื้นที่ระเหยน้ำมาก และมีอัตราการทำแห้งเร็วดังนั้นหากอาหารมีความหนามากอัตราการทำแห้งจะช้ากว่าอาหารที่มีความหนาน้อย เนื่องจากอัตราการทำแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

3) ปริมาณอาหาร

อาหารที่นำมาทำแห้งในปริมาณมากๆ จะมีอัตราการทำแห้งช้าเนื่องจากอากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับอาหารที่นำมาทำแห้งได้อย่างทั่วถึง จึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารได้ จึงทำให้อัตราการทำแห้งช้าลง

4) ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะ (specific humidity)

อุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญมากต่อการระเหยของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกผลิตภัณฑ์ หากมีความแตกต่างกันมาก น้ำภายในผลิตภัณฑ์จะสามารถระเหยออกมาได้ดีมากขึ้นตามความแตกต่างของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

ความชื้นสัมพัทธ์คือ ปริมาณไอน้ำในอากาศ ถ้าอากาศมีความชื้นพัทธ์สูงหมายถึง มีไอน้ำในอากาศมาก ดังนั้นหากต้องการให้การทำแห้งมีประสิทธิภาพสูงจะต้องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้มีค่าต่ำ

ความเร็วลมเป็นปัจจัยสำคัญในการระเหยของน้ำ เนื่องจากยิ่งใช้ความเร็วลมมากจะทำให้อัตราการระเหยของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์เร็วขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำแห้งของผลิตภัณฑ์

5) ความดัน

ความดันมีผลเกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำ เมื่อที่ความดันต่ำน้ำจะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันต่ำจะทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น

2.4 การทำแห้งแบบผสมผสาน [7]

การทำแห้ง มีหลายรูปแบบซึ่งมีความเหมาะสมกับชนิดของวัสดุอาหารแตกต่างกันออกไป ซึ่งในการอบผลิตผลทางการเกษตร มักพบปัญหาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหรือการสูญเสียสารสำคัญ การทำแห้งแบบผสมผสานจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยแก้ไขข้อบกพร่อง โดยนำข้อดีของการทำแห้งมาใช้ร่วมกัน ลักษณะและข้อดีข้อเสียของการทำแห้งแบบผสมผสานมีดังนี้

1) การทำแห้งโดยปั๊มความร้อน

ทำแห้งโดยให้อากาศไหลผ่านผลิตภัณฑ์และดูดซับความชื้นไว้ หลังจากนั้นจะผ่านตัวทำระเหยของระบบทำความเย็นซึ่งอุณหภูมิของอากาศจะถูกทำให้ต่ำลง และดึงความชื้นบางส่วนออก หลังจากนั้นอากาศเย็นจะผ่านคอนเดนเซอร์ ซึ่งให้อากาศร้อนขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะไหลย้อนกลับไปยังห้องอบเพื่อรับความชื้นจากผลิตภัณฑ์ ข้อดีคือ ผลิตภัณฑ์ที่

ได้มีคุณภาพที่ดีในด้านสี กลิ่น และเนื้อสัมผัส ใช้เวลาการอบแห้งลดลง และค่าใช้จ่ายในการทำงานต่ำ สามารถลดการใช้พลังงานได้ 60-70% เมื่อเทียบกับระบบที่ใช้เชื้อเพลิงหรือไอน้ำ

2) การทำแห้งโดยใช้รังสีอินฟาเรด

ทำแห้งโดยให้ความร้อนจากการแผ่รังสีอินฟาเรดโดยตรงไปยังวัสดุ ไม่ต้องอาศัยตัวกลาง รังสีอินฟาเรดความยาวคลื่นที่ต่างกันมีคุณสมบัติการให้ความร้อนต่างกัน ข้อดีคือ ผิวภายนอกของผลิตภัณฑ์ที่อบไม่เหี่ยวย่น มีสมบัติหลังการทำแห้งใกล้เคียงกับก่อนการทำแห้ง ใช้เวลาน้อย สามารถออกแบบให้เกิดความร้อนเฉพาะส่วนหรือที่ระดับความลึกต่างๆโดยที่ไม่ต้องให้ความร้อนทุกส่วนของวัสดุ ส่วนข้อเสียคือ ไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ผิวมันวาวสะท้อนแสงและมีค่าใช้จ่ายสูง

3) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

ทำแห้งภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความดันต่ำ โดยลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จนถึงจุดต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง เพื่อให้น้ำภายในผลิตภัณฑ์สร้างผลึกเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งได้อย่างสมบูรณ์ จากนั้นลดความดันสุญญากาศลงจนต่ำกว่าจุดบนเส้นขอบเขตของการเปลี่ยนสถานะ เพื่อให้ผลึกน้ำแข็งภายในผลิตภัณฑ์เกิดการระเหิดเปลี่ยนสถานะเป็นไอ และในขั้นตอนสุดท้ายจึงค่อยๆให้พลังงานความร้อนแฝงของการระเหิด ยกระดับอุณหภูมิให้สูงขึ้น เพื่อให้น้ำแข็งระเหิดเป็นไอได้อย่างสมบูรณ์ ข้อดีคือ ผลิตภัณฑ์คงคุณค่าทางโภชนาการ เนื้อสัมผัส โครงสร้าง สี กลิ่น และรสชาติ ได้ใกล้เคียงกับของสด รักษาสารสำคัญของอาหารที่ถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อน ผลิตภัณฑ์มีความเสียหายต่ำ และโครงสร้างผลิตภัณฑ์มีรูพรุนมากส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สามารถคืนตัวได้อย่างรวดเร็ว ส่วนข้อเสียคือ เครื่องมือมีราคาแพงกว่าการทำแห้งชนิดอื่นประมาณ 3 เท่า ใช้เวลาและพลังงานในการดำเนินการมาก มีผลต่อเนื้อสัมผัสของอาหารบางชนิดทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แข็งและเหนียว และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความไวต่อการเสียหายในสภาพบรรยากาศปกติ

4) การทำแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำ

ทำแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งซึ่งถูกทำให้จุดเดือดลดลงด้วยการลดความดันลงแทนการใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิสูง ไอน้ำก็จะดันเอาอากาศออกไปทำให้ไม่มีอากาศในระบบ ข้อดี คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูพรุนค่อนข้างมาก สมบัติในการดูดน้ำกลับดีขึ้น ลักษณะทางกายภาพ ทั้งรูปทรง และสีที่ใกล้เคียงของเดิมมาก รักษาคุณค่าทางอาหาร และใช้เวลาน้อยกว่าการอบแห้งแบบลมร้อนหรือแบบสุญญากาศ ส่วนข้อเสียคือ ค่าใช้จ่ายสูง

5) การทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ

ทำแห้งโดยโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงคลื่นไมโครเวฟส่งผ่านไปยังอาหาร ทำให้โมเลกุลของน้ำที่อยู่ในอาหารเกิดการสั่นและเสียดสีกันจนเกิดความร้อนทำให้อุณหภูมิของอาหารสูงขึ้น ส่งผลให้น้ำระเหยและความชื้นในอาหารลดลงอย่างรวดเร็ว ข้อดี คือ ช่วยลดปัญหาการเกิดลักษณะเปลือกแข็งรอยแตกที่ผิวหน้า ลดการหดตัวของผลิตภัณฑ์ได้ ไม่มีการสูญเสียความร้อนไปกับสภาพแวดล้อมเหมือนการทำแห้งด้วยลมร้อน และใช้เวลาในการทำแห้งสั้น ส่วนข้อเสีย คือ มีปัญหาความไม่สม่ำเสมอของสนามไฟฟ้า ทำให้เกิดการไหม้เป็นจุดๆ

6) การทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศ

ทำแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟในการระเหยน้ำในผลิตภัณฑ์ ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการระเหยน้ำต่ำกว่าปกติเนื่องจากลดระดับความดันให้เป็นสุญญากาศ ข้อดีคือ รักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์และประหยัดเวลาในการอบแห้งได้มาก

2.5 ข้อมูลของข่า

2.5.1 ข้อมูลทั่วไป [8]

ชื่อวิทยาศาสตร์	*Alpinia galanga* (Linn.) Swartz.
ชื่อวงศ์	ZINGIBERACEAE
ชื่อพ้อง	*Languas galanga* (Linn.) Stuntz.
ชื่ออังกฤษ	Galangal, False galangal, Greater galangal
ชื่อท้องถิ่น	กฏกกโรหิณี, ข่าหยวก, ข่าหลวง, สะเอเชย, เสะเออเคย
ถิ่นกำเนิด	เอเชียตะวันออกเฉียงใต้และภูมิภาคเอเชียเขตร้อน

2.5.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ [9]

พืชล้มลุก มีเหง้าใต้ดิน เหง้ามีข้อหรือปล้องเห็นได้ชัด ใบเป็นใบเดี่ยว ออกเรียงสลับกัน ใบรูปหอกมีปลายแหลม รูปรีหรือเกือบขอบขนาน ปลายใบแหลม ขอบใบเรียบ โคนใบแหลมก้านใบมีขนเล็กน้อย กาบใบแผ่ออกหุ้มต้น ดอกเป็นช่อออกที่ปลายยอด ก้านช่อมีผิวเกลี้ยง ไม่มีขน แต่แกนกลางช่อมีขน ดอกมีขนาดเล็ก ใบประดับรูปไข่ กลีบเลี้ยงสีขาวอมเขียว มีขน โคนกลีบเลี้ยงเชื่อมติดกัน ปลายแยกเป็นหยักมนๆ กลีบดอกมีโคนเชื่อมติดกันเป็นหลอดสั้นๆ ปลายแยกเป็น 3 กลีบ มีกลีบบนหนึ่งกลีบ กลีบล่างสองกลีบ ที่โคนกลีบดอกมีผลรูปกลมหรือรี สีแดงอมส้ม เมื่อแก่จัดจะเปลี่ยนเป็นสีดำ ภายในมี 2-3 เมล็ด

2.5.3 สารสำคัญในข่า

1) สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) หรือสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยกำจัดอนุมูลอิสระ (free radical) และไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ โดยใช้ตัวเองเป็นตัวรับอนุมูลอิสระในการยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ เช่น ลิพิดออกซิเดชัน ซึ่งเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพระหว่างการเก็บหรือกระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น รสชาติเสีย สีเปลี่ยนแปลง เสียสมบัติเชิงริโอโลยี(ความหนืด เนื้อสัมผัส) หรือเกิดองค์ประกอบที่เป็นพิษ สารต้านอนุมูลอิสระมีที่มาจากแหล่ง2 ประเภทคือ ได้จากพืชธรรมชาติ เช่น แอสตาแซนทิน ยูจีนอล แอนโทไซยานิน ซีลีเนียม และพวกสารประกอบฟีนอล และได้จากการสังเคราะห์ เช่น BHA (butylated hydroxyanisole) BHT (butylated hydroxytoluene) TBHQ (tertiary butyl hydro quinone) EDTA [1,9]

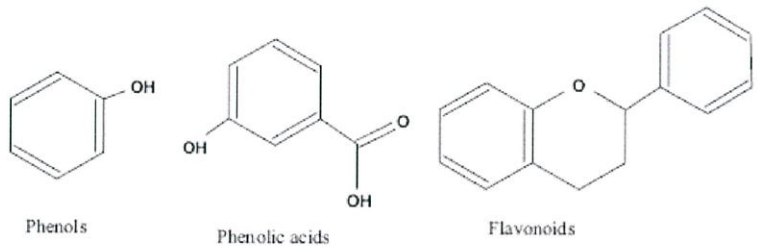
2) สารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) เป็นสารต้านออกซิเดชัน มีโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic ring) ที่เป็นอนุพันธ์ของเบนซิน มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) อย่างน้อยหนึ่งหมู่ สารประกอบฟีนอลพื้นฐาน คือ ฟีนอล (Phenol) ประกอบด้วยวงแหวนเบนซิน 1 วง และหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ ฟีนอลสามารถละลายได้ในกลีเซอรอลคาร์บอนไดซัลไฟด์ อัลกอฮอล์ อีเธอร์และคลอโรฟอร์ม อาจแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

— Simple Phenols/Phenolic Acid และอนุพันธ์เช่น Gallic Acid, Ellagic Acid, Tannic Aci, Vanillin, Catechol, Resorcinol และSalicylic Acid เป็นต้น สารกลุ่มนี้พบได้ในผลไม้หลายชนิด เช่น ราสเบอรี่ และแบลคเบอรี่

— Phenylpropnoids ได้แก่ Phenolic Compound ที่ Aromatic Ring มี Three-Carbon Side chain เกาะอยู่ แยกย่อยออกได้หลายกลุ่มได้แก่ Hydroxycinnamic Acids (Ferulic Acid, Caffeic Acid หรือ Coumaric Acid), Coumarins

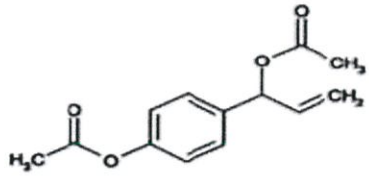
(Umbelliferone, Scopoletin, Aesculetin หรือ Psoralen), Lignans (Pinoresinol, Eugenol หรือ Myrististicin) พบได้ใน แอปเปิ้ล แพร์และกาแฟ

— Flavonoids เป็นกลุ่มสำคัญของ Phenolic Compounds จะได้แก่สารที่มีสูตรโครสร้างเป็น C_6-C_3-C_6 แยกย่อยออกได้เป็นหลายกลุ่มได้แก่ Catechins, Proanthocyanins, Anthocyanidins, Flavones, Flavonols, Flavones และ Isoflavones [11]



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลที่พบในธรรมชาติ [11]

3) สาร 1'- Acetoxychavicol Acetate (ACA) เป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพชนิดหนึ่งที่สามารถพบได้ภายในไรโซมข่า สาร ACA ที่สกัดได้จากไรโซมข่าสามารถยับยั้งเชื้อวัณโรคที่มีแนวโน้มดื้อยาเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากวัณโรคเป็นโรคติดเชื้อที่มีเชื้อแบคทีเรียMycobacterium tuberculosis เป็นเชื้อสาเหตุ โดยเชื้อนี้มีผลต่อการทำงานของปอด ระบบประสาท รวมถึงระบบภูมิคุ้มกัน ปัจจุบันสถิติของจำนวนผู้ป่วยวัณโรคเพิ่มขึ้นทุกปีรวมถึงผู้ติดเชื้อวัณโรค ที่เข้ารับการรักษาไม่ตรงตามแผนการรักษาซึ่งเป็นปัจจัยที่เอื้อให้เชื้อวัณโรคเกิดการดื้อต่อยาที่ใช้ในการรักษา [4]



รูปที่ 2.6 โครงสร้างโมเลกุลของสาร สาร 1'- Acetoxychavicol Acetate (ACA) [4]

4) สารยับยั้งเอนไซม์แอลฟากลูโคซิเดส (Alpha-Glucosidase) โดยแอลฟากลูโคซิเดสเป็นเอนไซม์ซึ่งอยู่บริเวณผนังเซลล์ของลำไส้เล็ก ทำหน้าที่ย่อยแป้งและคาร์โบไฮเดรตให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอนไซม์ ซึ่งสารยับยั้งเอนไซม์แอลฟากลูโคซิเดสจะช่วยชะลอการดูดซึมกลูโคสเข้าสู่กระแสเลือด และชะลอการเพิ่มของระดับน้ำตาลในกระแสเลือด สามารถนำไปใช้เพื่อการรักษาโรคเบาหวานชนิดไม่พึ่งพาอินซูลินได้ [12]

5) สารอื่นๆ เช่น Cineole, camphor และ eugenol ช่วยลดการบีบตัวของลำไส้, 1'-acetoxychavicol acetate, 1'-acetoxyeugenol acetate และ eugenol ช่วยลดการอักเสบ , 1'-acetoxychavicol acetate และ 1'-acetoxyeugenol acetate ช่วยยับยั้งการเกิด

แผลในกระเพาะอาหาร และฆ่าเชื้อรา eugenol มีฤทธิ์ขับน้ำดี ช่วยย่อยอาหาร และฆ่าเชื้อแบคทีเรีย [8]

2.5.4 การใช้ประโยชน์ [8]

เนื้อในเหง้ามีสีขาว รสขมเผ็ดร้อนแต่ไม่เผ็ดเหมือนกับขิง มีกลิ่นหอมฉุน ประเทศไทยมีการปลูกข่าทั่วไปในหลายจังหวัด เช่น เชียงใหม่ น่าน พิจิตร พิษณุโลก เป็นต้น ในการประกอบอาหารในครัวเรือนสามารถใช้ข่าได้ทั้งรูปแบบข่าสดหรืออบแห้งในการประกอบอาหารในครัวเรือนและเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ทางยา เช่น เป็นส่วนผสมร่วมกับเครื่องเทศ ใช้แต่งกลิ่นอาหาร ดับกลิ่นคาว อาหารจำพวกพวกเนื้อสัตว์ ส่วนผสมในน้ำพริกเครื่องแกง หลากหลายชนิดของอาหารเอเชีย เช่น ไทย ลาว เวียดนาม และอาหารอินโดนีเซีย ใช้ทำสมุนไพรบำบัด ผสมยาต้มรวมสูตร ทางสมุนไพรพื้นบ้าน

2.5.5 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา [8]

1) ฤทธิ์ลดการบีบตัวของลำไส้ ได้จาก cineole, camphor และ eugenol

2) ฤทธิ์ขับน้ำดี ได้จากสาร eugenol จากเหง้าข่า

3) ฤทธิ์ขับลม ได้จากน้ำมันหอมระเหยจากเหง้าข่า

4) ฤทธิ์ลดการอักเสบ ได้จากสาร 1'-acetoxychavicol acetate, 1'-acetoxyeugenol acetate และ eugenol เช่น ลดการอักเสบของข้อ

5) ฤทธิ์ยับยั้งแผลในกระเพาะอาหาร ได้จากสาร 1'*S*-1'-acetoxychavicol acetate และ 1'*S*-1'-acetoxyeugenol acetate

6) ฤทธิ์ต้านเชื้อจุลชีพ ได้แก่ ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Salmonella-typhi* ที่เป็นสาเหตุของโรคอุจจาระร่วงได้ ยับยั้งแบคทีเรียสายพันธุ์ดื้อยา*Enterococcus faecalis*, *S.typhi*, *Pseudomonas aeruginosa*, *E coli*และ *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* ,*S. aureus*, *Bacillus cereus Salmonella typhi* ยับยั้งแบคทีเรียที่ทำให้เกิดสิวได้ ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคพืช *Lemma minor* ได้ ฆ่าเชื้อรา *Microsporum gypseum*,*Trichophyton rubrum*, *Trichophyton mentagrophyte* ที่เป็นสาเหตุของโรคกลากเกลื้อนได้ต้านเชื้อรา *Candida albicans*และยับยั้งเชื้อราก่อโรคพืช *Trichophyton longifosus*

7) ฤทธิ์ต้านเซลล์มะเร็ง ได้แก่ เซลล์มะเร็งต่อมน้ำเหลือง เซลล์มะเร็งเต้านม เซลล์มะเร็งปอด เซลล์มะเร็งกระเพาะอาหาร เซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่ เซลล์มะเร็งเม็ดเลือด เซลล์มะเร็งปอด และเซลล์มะเร็งเต้านม

2.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

1) อัตราการคืนตัว (Rehydration) [13]

แสดงถึงความสามารถในการคืนรูปของอาหาร ใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอย่างหนึ่งของอาหารที่ได้จากการทำแห้ง เนื่องจากการทำแห้งทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การหดตัว ย่น บิดเบี้ยว เซลล์ฉีกขาด ผนังเซลล์เสียความยืดหยุ่น โปรตีนเสียสภาพในการดูดน้ำ อาหารแห้งบางชนิดเมื่อนำมาคืนสภาพโดยการแช่น้ำ จะไม่สามารถดูดกลับน้ำคืนได้จนมีสภาพคืนรูปดังเดิม แต่จะมีเนื้อเหนียว สูญเสียความนุ่ม ความฉ่ำน้ำและความกรอบ ซึ่งถ้าอาหารถูกทำแห้งภายใต้กระบวนการและสภาวะที่เหมาะสม จะเกิดการเสียหายน้อย คืนรูปได้เร็วและสมบูรณ์ ส่งผลทำให้การดูดน้ำกลับมีค่าสูง

2) การศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) [14]

เนื่องจากในระหว่างการทำแห้งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างระดับจุลภาคของอาหาร ซึ่งมีอิทธิพลต่อสมบัติและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้ง เพื่อศึกษาให้เข้าใจในระดับโครงสร้างของเซลล์ การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด สามารถทำการวิเคราะห์ตรวจสอบพื้นผิวของวัสดุโดยสามารถทดสอบตัวอย่างได้หลายแบบ อาทิเช่น ของแข็ง ผง ฟิล์มเคลือบ ตัวอย่างทางชีวภาพ ตัวอย่างทางวัสดุและอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีระบบการวิเคราะห์ 2 ระบบ คือ ระบบ High Vacuum Mode ให้รายละเอียดสูง กำลังขยายสูง ภาพคมชัด ตัวอย่างที่สามารถวิเคราะห์ได้ต้องนำไฟฟ้า ไม่มีความชื้นหรืออาจใช้วิธีเคลือบทองที่ผิวชิ้นงาน และระบบ Variable Pressure Mode ให้รายละเอียดที่ต่ำ กำลังขยายต่ำ ตัวอย่างต้องไม่มีความชื้น และไม่นำไฟฟ้า ไม่ต้องมีการเคลือบผิวตัวอย่างด้วยทองหรือคาร์บอน ตัวอย่างที่ต้องเตรียมเพื่อทำการวิเคราะห์ แบบผงใช้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แบบของแข็งควรเตรียมมาอย่างน้อย 2 ชิ้น เพื่อป้องกันความผิดพลาดกรณีตัวอย่างเสียหาย เนื่องจากตัวอย่างขนาดเล็กจะสามารถถ่ายเทอิเล็กตรอนลงกราวด์ได้ดีกว่า ป้องกัน charging effects ส่วนตัวอย่างทางชีวภาพที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ เช่นเนื้อเยื่อ ต้องทำการเอาน้ำออก (dehydrate)ด้วยเอทานอลหรืออะซิโตนมาก่อน และต้องมีขนาดไม่เกิน 5 ลูกบาศก์มิลลิเมตร

3) การเปลี่ยนแปลงสี [15]

ในการอบแห้งอาจทำให้สีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหรือสีดำ ในผลิตภัณฑ์อาหารควรมีการเปลี่ยนแปลงสีไม่มาก โดยแสดงค่าสีในระบบ CIE L* a* b* ซึ่ง ค่า L* แสดงถึงค่าความสว่าง ค่า +a* แสดงถึงค่าสีแดง และค่า +b* แสดงถึงค่าสีเหลือง วัดสีด้วยเครื่องวัดสี รุ่น Color JC-801

คำนวณหาค่า chroma (C_o) แสดงถึงค่าความเข้ม โดยคำนวณจาก

$$C_o = (a^{*2}+b^{*2})^{1/2} \quad (2.3)$$

ค่า Hue (h_o) ซึ่งคำนวณจาก

$$h_o = \tan^{-1}(b^*/ a^*) \quad (2.4)$$

คำนวณค่าความแตกต่างของสี (ΔE) คำนวณจาก

$$\Delta E=(\Delta L^{*2}+\Delta a^{*2}+\Delta b^{*2})^{1/2} \quad (2.5)$$

เมื่อ ความแตกต่างของค่าสว่าง (ΔL^*) คำนวณจาก $\Delta L^* = L^*$(ข่าสด)- L^*(ข่าที่สภาวะต่างๆ)

ความแตกต่างของค่าสีแดง (Δa^*) คำนวณจาก $\Delta a^* = a^*$(ข่าสด)- a^*(ข่าที่สภาวะต่างๆ)

ความแตกต่างของค่าสีเหลือง (Δb^*) คำนวณจาก $\Delta b^* = b^*$(ข่าสด- b^*(ข่าที่สภาวะต่างๆ)

2.7 วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของข่า

1) DPPH assay [6,16]

เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ซึ่งใช้ reagent คือ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl เป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว ง่ายต่อการวิเคราะห์ ให้ความถูกต้องและแม่นยำสูง หลักการคือ DPPH เป็นอนุมูลอิสระ ในตัวทำละลายเมทานอล เมื่อเตรียมเป็นสารละลายจะมีสีม่วง มีคุณสมบัติเป็นอนุมูลอิสระที่ค่อนข้างเสถียรชนิดหนึ่ง ใช้เป็นรีเอเจนต์ในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระซึ่งดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 515-517 นาโนเมตร เมื่อ DPPH• ทำปฏิกิริยากับสารสกัดจากพืชหรือ BHT ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสีของสารละลายสีม่วงจะ

เปลี่ยนเป็นสีเหลือง โดย DPPH● จะเกิดปฏิกิริยากับ antioxidant (AH) หรือกับ radical species (R●)

DPPH● + AH----------DPPH-H + A●

DPPH● + R●---------- DPPH-R

การศึกษาความสามารถในการต้านออกซิเดชันในสารตัวอย่างนิยมรายงานเป็นค่า 50% effective concentration (EC_{50}) ซึ่งหมายถึงปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH● ลดลง 50% แล้วใช้ค่า EC_{50} ในการเปรียบเทียบความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระระหว่างตัวอย่างที่ทดสอบกับสารมาตรฐาน BHT และ เปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Radical Scavenging)

2) การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด [17]

ในการวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยเทียบกับสารมาตราฐานกรดแกลลิค (gallic acid) ในหน่วยแสดงค่า มิลลิกรัมแกลลิคต่อกรัมน้ำหนักแห้ง(mg gallic acid - equivalents (GAE)/ gram dried weight) อาศัยหลักการ คือ การทำปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบฟีนอลทั้งหมดกับ Folin-Ciocalteu reagent ซึ่งประกอบด้วย phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents สารดังกล่าวจะถูกรีดิวซ์โดย phenolic hydroxyl groups ของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเกิดเป็น tungsten และ molybdenum blue ซึ่งให้สีน้ำเงินและดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยใช้ spectrophotometer

3) การวิเคราะห์การวิเคราะห์หาปริมาณสาร 1'- อะซีทอกซีคาวิคอล อะซีเตท (ACA) [4]

นำสารตัวอย่างไปตรวจหาปริมาณสาร ACA โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 234 นาโนเมตร หลังจากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงไปเปรียบเทียบเพื่อหาปริมาณสาร ACA จากกราฟมาตรฐานของค่าการดูดกลืนแสงของสาร ACA บริสุทธิ์

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

T.Juntachote และคณะ(2007) ได้ศึกษาผลของผงข่าทำแห้งและสารสกัดจากข่าอบแห้งที่มีต่อความเสถียรในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมูบดอบปรุงสุก โดยใช้ข่าอบแห้งบดเป็นผงและสกัดด้วยเอทานอลจนได้สารสกัดข่า นำไปผสมกับเนื้อหมูบดที่ผ่านการปรุงสุกด้วยการอบให้มีสัดส่วนต่างๆกัน ดังนี้ ผงข่าแห้ง 0.05%, 0.10%,0.15% และสารสกัดข่า 0.17%, 0.34%, 0.51% วัดค่าและเปรียบเทียบในเชิงปริมาณของการเกิดลิพิดออกซิเดชัน 4 วิธี ได้แก่ Thiobarbituric- acid reactive substances (TBARS), Peroxide value (POV), Conjugated dienes และ Hexanal content พบว่าเนื้อหมูบดอบที่มีผงข่าแห้งและสารสกัดข่า มีค่าการเกิดลิพิดออกซิเดชันลดลง เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน ซึ่งการใช้ผงข่าแห้งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งดีกว่าสารสกัดข่า และการเพิ่มสัดส่วนของทั้งผงข่าแห้งและสารสกัดข่าในเนื้อหมูบดอบ ทำให้การเกิดลิพิดออกซิเดชันลดลงมากขึ้น นอกจากนี้ยังอีกพบว่า ค่า TBARS และค่า Hexanal content ที่ได้จากการทดลอง มีความสัมพันธ์กันกันอย่างมีนัยสำคัญ ($r^2 = 0.96$; $P < 0.05$) ดังนั้น ในอาหารที่เกิดลิพิดออกซิเดชันซึ่งมักจะมีส่วนประกอบของกรดไขมันเช่น เนื้อหมู เนื้อวัว จะสามารถป้องกันการเกิดลิพิดออกซิเดชันได้ โดยการใช้ข่าในรูปแบบผงหรือสารสกัดตามความเหมาะสม [2]

Prinya และคณะ(2012) ได้ศึกษาองค์ประกอบฟีนอลและศักยภาพในการยับยั้งalpha-amylase และalpha-glucosidase ของสมุนไพรทำครัวในประเทศไทยจำนวน 30 ชนิด ได้แก่กระเทียม หัวหอม มะระจีน มะระขี้นก ตำลึง ฟักทอง ตะไคร้ กระเพรา โหระพา สะระแหน่ ดอกแค แค กระถิน ถั่วแปบ ถั่วพู ผักสลัดน้ำ กระเจี๊ยบ โกสน พลูคาว พริกหวาน พริก มะเขือพวง มะเขือเปราะ มะเขือม่วง ใบบัวบก ผักชี ข่า กระชาย ขิง และขมิ้น โดยสกัดพืชด้วยน้ำแล้วนำสารสกัดไปวัดหาปริมาณองค์ประกอบต่างๆพบว่า พืชที่มีปริมาณฟินอลรวมมากคือ มะเขือเปราะ กระเพรา กระถิน พืชที่มีสารต้านอนุมูลอิสระมากคือ มะระจีน ข่า ฟักทอง ผักสลัดน้ำ กระเจี๊ยบ พืชที่มีcaffeic acid มากคือ ถั่วพู กระถิน พืชที่มีp-coumaric acid มากคือ สะระแหน่ ข่า กระเพรา โกสน พืชที่มีสารยับยั้งalpha-amylaseมากคือ กระถิน และพืชที่มีสารยับยั้งalpha-Glucosidase มากคือ ข่า มะเขือเปราะ สะระแหน่ ตำลึง กระเพรา [1]

Pornpimon and Sakamon(2008) ได้ศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระและสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากกูสเบอรี่และข่า โดยวัดค่าสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ใช้ 2 วิธีที่แตกต่างกันคือ Disc diffusion method และ Agar dilution method จะได้ค่าMIC (minimal inhibitory concentration) และ MBC (minimal bactericidal concentration) สามารถใช้ในการประเมินฤทธิ์ต้านเชื้อของสารตัวอย่าง ส่วนสารต้านอนุมูลอิสระตรวจวัดจาก 2 วิธี คือ B-Carotene bleaching method และหาสารประกอบฟินอลทั้งหมดโดยใช้folin-Ciocaltue reagent นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์องค์ประกอบของกูสเบอรี่และข่าโดยใช้High-performance liquid chromatography (HPLC) [17]

Nopparat Mahea and Siree Chaiseri(2009) ได้ศึกษาการต้านอนุมูลอิสระและส่วนประกอบสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดของข่าเพื่อศึกษาการต้านอนุมูลอิสระและส่วนประกอบสารต้านอนุมูลอิสระมีวิธีการสกัดทั้งหมด 3 แบบคือ Ethanolic Extract, Water Extract และEssential Oil ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระใช้วิธีวิเคราะห์แบบ DPPH และ ORAC พบว่าการสกัดข่าแบบEthanolic Extract จะให้ค่าการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดเมื่อเทียบกับการสกัดข่าแบบอื่นๆ ผลที่ได้จากการสกัด 3 วิธีเพื่อหาสารต้านอนุมูลอิสระพบว่า การสกัดแบบEthanolic มีค่าสารประกอบTotal phenolics เท่ากับ 13.78 mgCE/g ที่มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับการสกัดแบบWater Extract และ Essential Oil ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระที่พบจากการสกัดแบบ Ethanolic Extract คือ 1' – Acetoxycavical Acetate(ACA) เท่ากับ 10.56 mg/g extract และCatechn 1.74 mg/g extract ซึ่ง 1' – Acetoxycavical Acetate (ACA) มีความสำคัญต่อการต้านอนุมูลอิสระในข่า และยังพบว่าการสกัดแบบEthanolic Extract ผงข่าจะมีสีน้ำตาลอ่อน เกือบไม่มีสี การสกัดแบบWater Extract จะมีสีน้ำตาลอ่อน มีกลิ่นอ่อนๆ และการสกัดแบบEssential Oil ไม่มีสี แต่มีกลิ่นฉุน [18]

Nipattha Chatsuwan and Varipat Areekul(2010) ได้ศึกษาพารามิเตอร์สี ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโธไซยานินในข้าวสายพันธุ์ต่างๆ พบว่า ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และแอนโธไซยานิน มีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.194-8.702 มิลลิกรัม สมมูลย์กรดแกลลิกต่อกรัม(น้ำหนักแห้ง) และ 0.0012- 6.676 มิลลิกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ สารสกัดจากกลุ่มข้าวที่มีสีมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและแอนโธไซยานินสูงกว่าสารสกัดจากกลุ่มข้าวที่ไม่มีสี โดยข้าวเหนียวดำมีปริมาณฟีนอลิกทั้ง หมดและแอนโธไซยานินสูงที่สุด สำหรับการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และแอนโธไซยานิน พบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีค่า 0.845 แสดงว่า ปริมาณแอนโธไซยานินมีความสัมพันธ์กับปริมาณฟีนอลิกทั้ง

หมดในข้าว พารามิเตอร์สี เช่น ค่าความสว่าง (L*) และ ค่าสีเหลือง (b*) มีความสัมพันธ์กันดีในเชิงผกผันกับปริมาณฟีนอลิกทั้ง หมด ในขณะที่ ค่าสีเหลืองเพียงพารามิเตอร์เดียวที่มีความสัมพันธ์กันดีในเชิงผกผันกับปริมาณแอนโธไซยานิน อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของสี (ΔE) มีความสัมพันธ์กันดีในเชิงบวกกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด [19]

Kongake Siringam และคณะ(2011) ได้ศึกษาอิทธิพลของพื้นที่ปลูกและอายุของไรโซมต่อความผันแปรของปริมาณสารAcetoxychavicol Acetate (ACA) ภายในไรโซมข่า ที่ขึ้นกับปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพภายที่ได้จากพืชมีความผันแปรกับปัจจัยทางพันธุกรรม สภาพแวดล้อม และอิทธิพลร่วมระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม พบว่า ไรโซมข่าอ่อนและแก่ที่ปลูกในพื้นที่ปลูกต่างกันมีผลทำให้ปริมาณสาร ACA แตกต่างกัน โดยสามารถจัดกลุ่มตามปริมาณสารACAภายในไรโซมข่าอ่อนและแก่ได้ 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (0-20 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ระดับปานกลาง (20-40 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) และระดับสูง (มากกว่า 40 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ นอกจากนี้ความแตกต่างของอายุไรโซมข่ามีผลต่อปริมาณสาร ACA โดยไรโซมข่าแก่มีปริมาณสาร ACA สูงกว่าในไรโซมข่าอ่อน และปริมาณสาร ACA ภายในไรโซมข่าอ่อน มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณสาร ACAภายในไรโซมข่าแก่ [4]

Bunleu Sungthong และคณะ(2013) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากใบหม่อนด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง เนื่องจากใบหม่อนเป็นแหล่งสาคัญของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเช่น สารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ เป็นต้น การสกัดสารออกฤทธิ์ให้ได้ปริมาณสูงมีความสาคัญต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์สุขภาพชนิดที่มีฤทธิ์แรง (high potency products) การสกัดด้วยคลื่นเสียงความถี่สูงเป็นวิธีการสกัดที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากสกัดได้สารประกอบฟีนอลิกในปริมาณสูงและยังใช้เวลาในการสกัดสั้น งานวิจัยนี้วางแผนการทดลองแบบ Central composite face-centered design เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของเอทานอล (ร้อยละ 50 – 90) และเวลาในการสกัดใบหม่อน (20 – 40 นาที) ที่ให้สารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุดเมื่อตรวจวัดโดยวิธี Folin-Ciocâlteu ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของเอธานอลมีผลต่อการสกัดใบหม่อนมากกว่าระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด การสร้างแบบจำลองจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณพบว่าแบบจำลองนี้มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.937 และค่าสัมประสิทธิ์ของการทาซ้าเป็น 0.932 จากแบบจำลองสามารถทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพื่อให้ได้สารประกอบฟีนอลิกสูงสุดได้ คือ การใช้เอทานอลเข้มข้นร้อยละ 50 และสกัดเป็นเวลา 40 นาที [20]

Uraiwan wattanakul และคณะ (2009) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสารประกอบฟินอลิก และฟลาโวนอยด์ในสารสกัดพืชป่าชายเลน บริเวณหาดราชมงคล จังหวัดตรัง พบว่าการวิเคราะห์หาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH (1,1 – diphenyl-2-picrylhydrazyl) สารประกอบฟินอลิก และสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในสารสกัดพืชป่าชายเลน บริเวณหาดราชมงคลจังหวัดตรัง จำนวน 8 ชนิด 16 ตัวอย่าง ซึ่งเตรียมสารสกัดจากตัวอย่างพืชปริมาณ 100 กรัม โดยสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอล จากการทดลองพบว่า สารสกัดพืชป่าชายเลนที่มีค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระที่ 50 เปอร์เซ็นต์(IC50) ดีที่สุด คือ ฝักอ่อนโกงกางใบใหญ่ โดยมีค่า IC50 เท่ากับ 0.011 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน BHA (IC50 = 0.04 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ตามด้วยใบลำพูและลูกตะบูนขาวซึ่งมีค่า IC50 เท่ากันที่ 0.014 มิลลิกรัม BHA/มิลลิลิตร แต่เมื่อพิจารณาจากปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดในสารสกัดพืช พบว่ามีปริมาณมากที่สุดในสารสกัด

ใบลำพู 92.05 มิลลิกรัม BHA/กรัมพืช ตามด้วยเปลือกลำต้นโกงกางใบใหญ่ และลูกตะบูนขาว มีค่าเท่ากับ 82.8 และ 50.21 มิลลิกรัม BHA/กรัมพืช ตามลำดับ ขณะที่ฝักอ่อนโกงกางใบใหญ่มีปริมาณ 44.17 มิลลิกรัม BHA/กรัมพืช และจากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟินอลิกและสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ในสารสกัด พบว่า เปลือกลำต้นโกงกางใบใหญ่มีปริมาณมากที่สุด 48.17 มิลลิกรัม gallic acid และ 31.41 มิลลิกรัม catechin ต่อกรัมพืช ตามลำดับ ตามด้วยใบลำพู ฝักอ่อนโกงกางใบใหญ่และลูกตะบูนขาว จากผลการทดลองแสดงว่าสารสกัดพืชโกงกางหลายชนิดเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟินอลิกและฟลาโวนอยด์ธรรมชาติที่สำคัญ [21]

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1) เครื่องอบแห้งชนิดถาด (tray dryer)
2) เครื่องกำเนิดความร้อน (Heater) กำลัง 3,000 วัตต์
3) เครื่องเป่าลม (Blower) รุ่น XGB-9A
4) เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer) DIGICON รุ่น DA-45S
5) เครื่องยูวี/วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ BOECO Germany รุ่น S-26
6) เครื่องวัดสี รุ่น Color JC-801
7) เครื่องวัดแอคทิวิตี้ของน้ำ AquaLab รุ่น Series 3 TE
8) เครื่องให้ความร้อน (Hot Plate)
9) เครื่องชั่ง ทศนิยม 2, 3 ตำแหน่ง
10) เครื่องปั่นเหวี่ยง
11) ปิเปต
12) ที่คีบ
13) ถาดรอง
14) กระจกนาฬิกา
15) ช้อนตักสาร
16) กระดาษรองชั่ง
17) หลอด Centrifuge ขนาด 10 มิลลิลิตร
18) บีกเกอร์ขนาด 10, 100, 250 มิลลิลิตร
19) แท่งแก้ว
20) กรวยแก้ว
21) ขวดวัดปริมาตรขนาด 50, 100, 250 มิลลิลิตร
22) ครกบดสารและเครื่องบด
23) ขวดแก้วสีชา
24) ขวดแก้วสีใส

3.1.2 สารเคมี

1) 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (SIGMA-ALORICH)

2) Gallic Acid (SIGMA-ALORICH)

3) Ethanol 95% (J.T.Baker SOLUSORB)

4) Folin-ciocalteu (CARLO ERBA REAGENTS)

5) Sodium Carbonate 99.8% (UNIVAR)

6) สารACAบริสุทธิ์

7) น้ำกลั่น

3.2 วิธีการทดลองการทำแห้งข่า

3.2.1 การเตรียมข่า

ใช้ข่าที่ปลูกในจังหวัดมหาสารคามเนื่องจากมีปริมาณสารACAสูง โดยนำส่วนเหง้าของข่ามาล้างน้ำให้สะอาด หั่นให้เป็นรูปวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 เซนติเมตร และมีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร

3.2.2 การทดลองการอบแห้งข่าที่สภาวะต่างๆ

1) ทำการปรับเครื่องเป่าลมและเครื่องกำเนิดความร้อน โดยปรับสภาวะการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงสภาวะการทำแห้งข่า

การทดลองที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (%Rh)
1	45	0.25	15
2			70
3		0.5	15
4			70
5	75	0.25	15
6			70
7		0.5	15
8			70
9	75	1.5	70

2) ชั่งน้ำหนักของข่าก่อนการทำแห้ง ใส่ข่าลงในถาดวางในเครื่องอบแห้ง ทำการทดลองภายใต้สภาวะที่ต้องการศึกษา และบันทึกน้ำหนักของข่าทุก 10 นาที จนการทั่งน้ำหนักเริ่มคงที่ จึงบันทึกน้ำหนักทุก 30 นาที ทำการทดลองเป็นเวลา 7 ชั่วโมง

3) นำผลที่ได้จากการทดลองมาคำนวณค่าความชื้น (Moisture content) จากสมการที่ 2.1 สร้างกราฟระหว่างค่าปริมาณความชื้นกับเวลา เพื่อหาความสัมพันธ์ในการลดลงของความชื้นเมื่อเทียบกับเวลา

4) นำตัวอย่างข่าทำแห้งที่เวลาการทำแห้ง 180 นาทีไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ดังหัวข้อ 3.3

5) นำตัวอย่างข่าทำแห้งที่เวลาการทำแห้ง 180 นาทีไปสกัดสารและวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ดังหัวข้อ 3.4

3.3 วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพไม่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาหรือเกิดสารใหม่ สามารถสังเกตได้จากลักษณะภายนอกของวัสดุอบแห้งหรือการใช้เครื่องมือวัด เช่น ขนาด รูปร่าง สี ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ ความพรุน เป็นต้น

3.3.1 วิธีการหาอัตราการคืนตัว [22]

1) เติมน้ำกลั่นปริมาตร 250 มิลลิลิตร ลงในหม้อต้มขนาดเล็ก ต้มจนน้ำเดือด

2) ชั่งข่าทำแห้งประมาณ 1 กรัม นำไปต้มเป็นเวลา 5 นาที แล้วเทน้ำออกนำข่าไปชั่งน้ำหนักบันทึกค่า ทำซ้ำจนกระทั่งครบ 30 นาที

3) คำนวณอัตรการคืนตัวจาก

$$\text{อัตราการคืนตัว} = \frac{\text{น้ำหนักข่าหลังการดูดน้ำกลับ}}{\text{น้ำหนักข่าแห้ง}}$$

3.3.2 การศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด [14]

เตรียมตัวอย่างข่าทำแห้งมาอย่างน้อย 2 ชิ้น เพื่อป้องกันความผิดพลาดกรณีตัวอย่างเสียหาย นำไปตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100 และ 500 เท่า

3.3.3 วิธีการวัดสี [19]

1.) นำตัวอย่างข่าสดและข่าทำแห้งบดให้ละเอียดแล้วกรองผ่านตะแกรงละเอียด 40 mesh นำไปวัดสีด้วยเครื่องวัดสี รุ่น Color JC-801 ก่อนการวัดทุกครั้ง คำนวณหาค่า chroma (C_o) แสดงถึงค่าความเข้ม โดยคำนวณจาก

$$C_o = (a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$$

ค่า Hue (h_o) ซึ่งคำนวณจาก

$$h_o = \tan^{-1}(b^*/ a^*)$$

2.) คำนวณค่าความแตกต่างของสี (ΔE) คำนวณจาก

$$\Delta E=(\Delta L^{*2}+\Delta a^{*2}+\Delta b^{*2})^{1/2}$$

เมื่อ ความแตกต่างของค่าสว่าง (L*) คำนวณจาก ΔL^* = L*(ข่าสด)- L*(ข่าที่สภาวะต่างๆ)

ความแตกต่างของค่าสีแดง (a*) คำนวณจาก Δa^* = a*(ข่าสด)- a*(ข่าที่สภาวะต่างๆ)

ความแตกต่างของค่าสีเหลือง (b*) คำนวณจาก Λb^* = b*(ข่าสด- b*(ข่าที่สภาวะต่างๆ)

3.4 วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

แยกสารสำคัญออกจากข่าโดยการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล95% แล้วนำสารสกัดที่ได้ไปวิเคราะห์ทางเคมี เพื่อหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของสารสำคัญในข่า

3.4.1 วิธีการสกัดด้วยเอทานอล [6]

1) นำข่าทำแห้งที่เวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าแอคทิวิตี้ของน้ำต่ำกว่า 0.6 มาบดด้วยครกแล้วกรองผ่านตะแกรงละเอียด 40 mesh

2) นำผงข่า 0.1 กรัม มาสกัดด้วยเอทานอล 95% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ในหลอด Centrifuge ปิดฝาให้สนิท เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

3) แยกเก็บสารละลายใสด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เป็นสารสกัดสำหรับวิเคราะห์ต่อไป

3.4.2 วิธี DPPH radical scavenging activity [6,18]

1) เตรียมสารละลาย DPPH เข้มข้น 0.004% โดยชั่งน้ำหนัก DPPH 4 มิลลิกรัม ละลายและปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยเอทานอลเข้มข้น 95% และเก็บในขวดสีชา เพื่อหลีกเลี่ยงการถูกแสงควรเตรียมทันทีก่อนใช้

2) นำตัวอย่างสารสกัดมา 0.5 มิลลิลิตร เติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืดนาน 30 นาที

3) วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างผสมกับ DPPH และ สารละลาย DPPH ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้เอทานอลเข้มข้น 95% เป็นสารเปรียบเทียบ (Blank)

4) คำนวณเปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (%Radical Scavenging) จาก

$$\%\text{Radical Scavenging} = \left[\frac{(AB - AA)}{AB}\right] x100$$

เมื่อ AA และ AB คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารตัวอย่างผสมกับDPPH และสารละลาย DPPH ตามลำดับ

3.4.3 วิธีวัดสารประกอบฟีนอลทั้งหมด [6]

1) นำตัวอย่างสารสกัดมา 0.5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu reagent 0.5 มิลลิลิตร เขย่าทิ้งไว้เป็นเวลา 6 นาที

2) เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 10% ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ครบ 10 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 90 นาที

3) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 760 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายฟีนอลิกมาตรฐาน ความเข้มข้น 0 ppm เป็นสารเปรียบเทียบ (Blank)

4) นำค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้น X แล้วนำค่า X คูณด้วยค่า Dilution factor จะได้ค่าความเข้มข้นของสารประกอบทั้งหมดในสารตัวอย่างในหน่วย ppm (หรือไมโครกรัมต่อกรัม as Gallic acid) โดยใช้ค่า

$$\text{Dilution factor} = \frac{\text{ปริมาณสารสกัด}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \frac{\text{ml}}{\text{g}} = \frac{0.5\ \text{ml}}{0.1\ \text{g}}$$

3.4.4 วิธีวัดปริมาณสาร ACA [4]

1) นำสารสกัดมา 0.5 มิลลิลิตร เจือจางด้วยสารละลายเอทานอล 95% ปริมาตร 9.5 มิลลิลิตร แล้วตรวจหาปริมาณสาร ACA โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยที่ความยาวคลื่น 234 นาโนเมตร

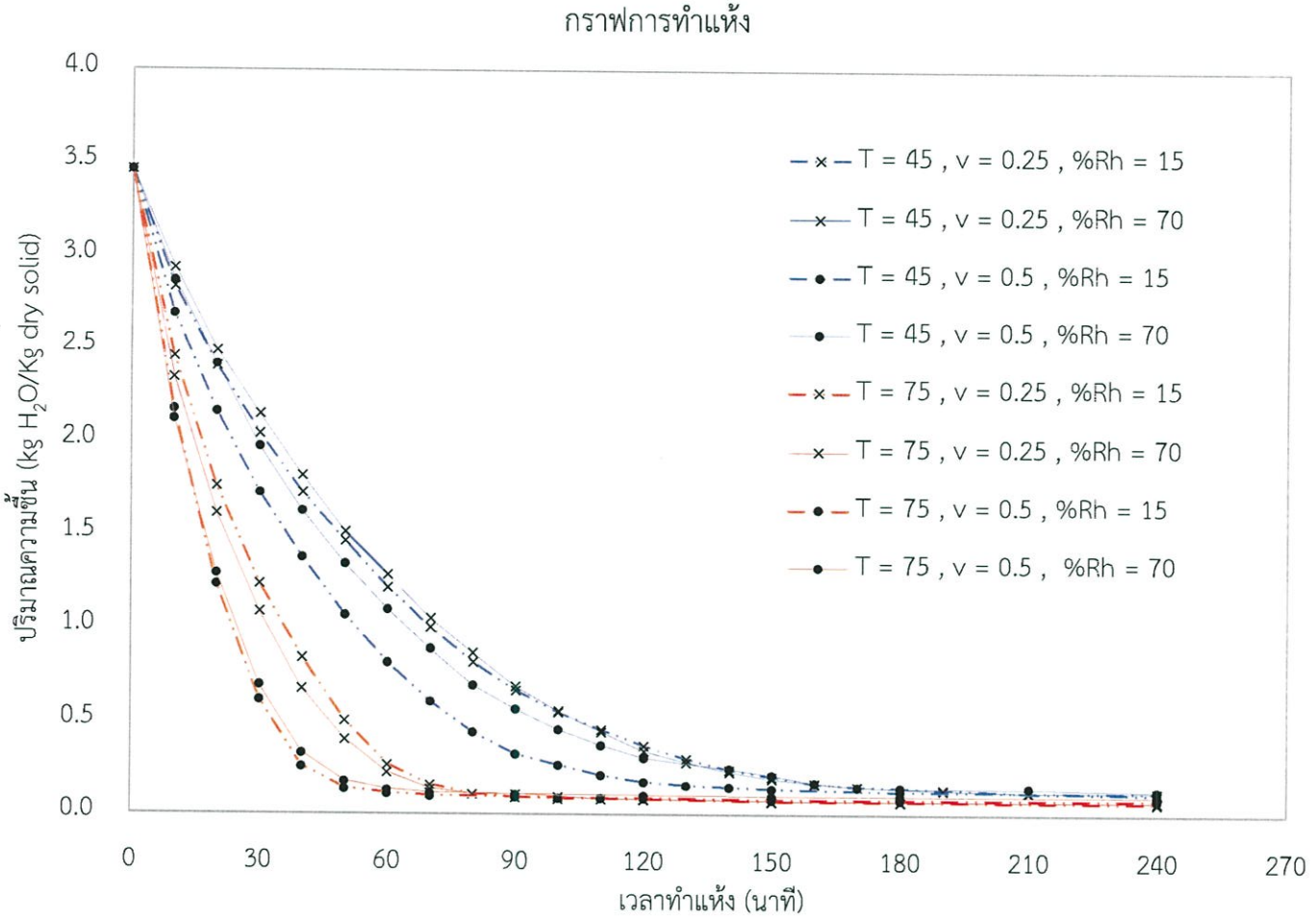
2) นำค่าการดูดกลืนแสงไปเปรียบเทียบเพื่อหาปริมาณสาร ACA จากกราฟมาตรฐานของค่าการดูดกลืนแสงของสาร ACA บริสุทธิ์

บทที่ 4

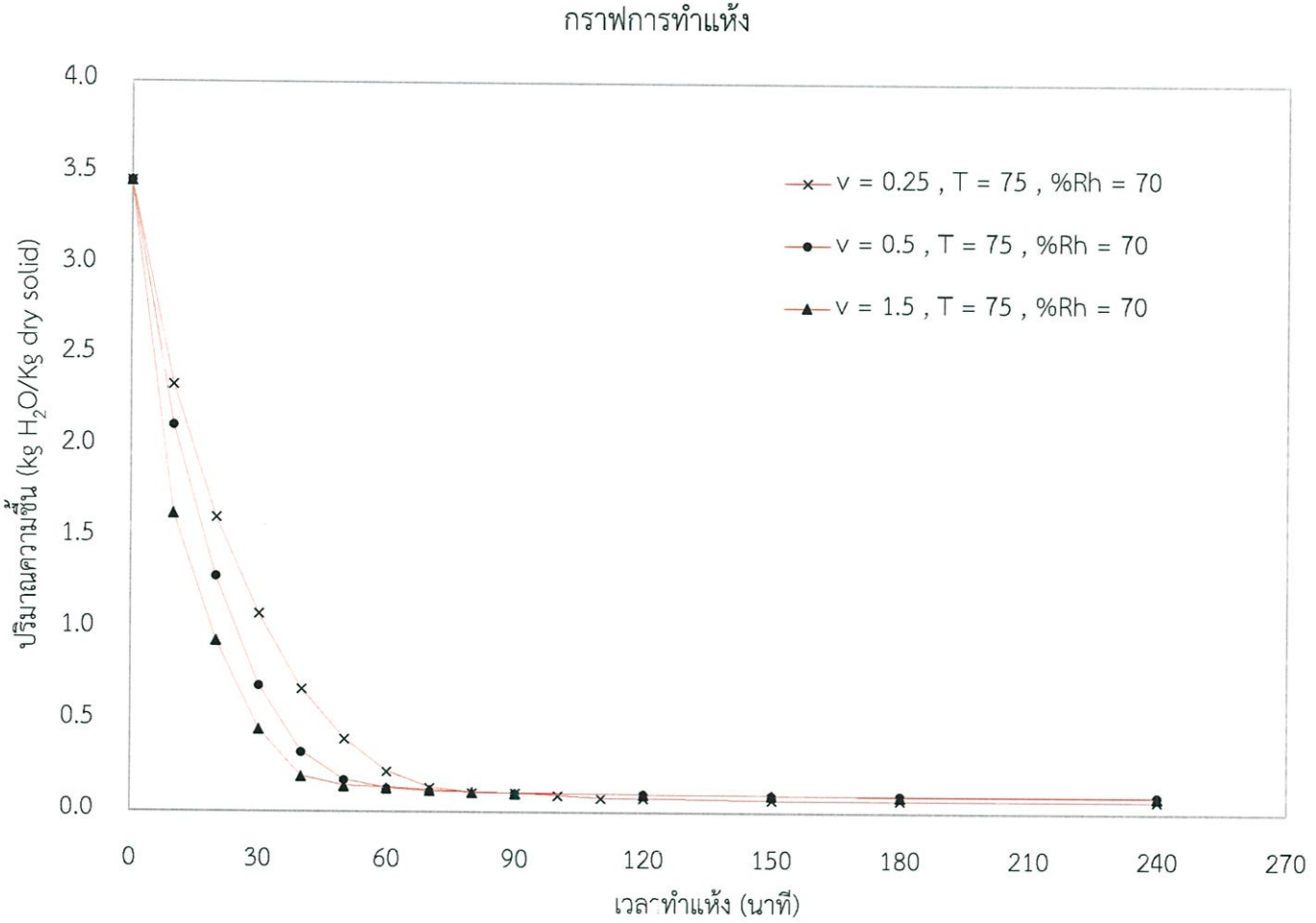
ผลการทดลอง

4.1 สภาวะที่เหมาะสมต่อการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด

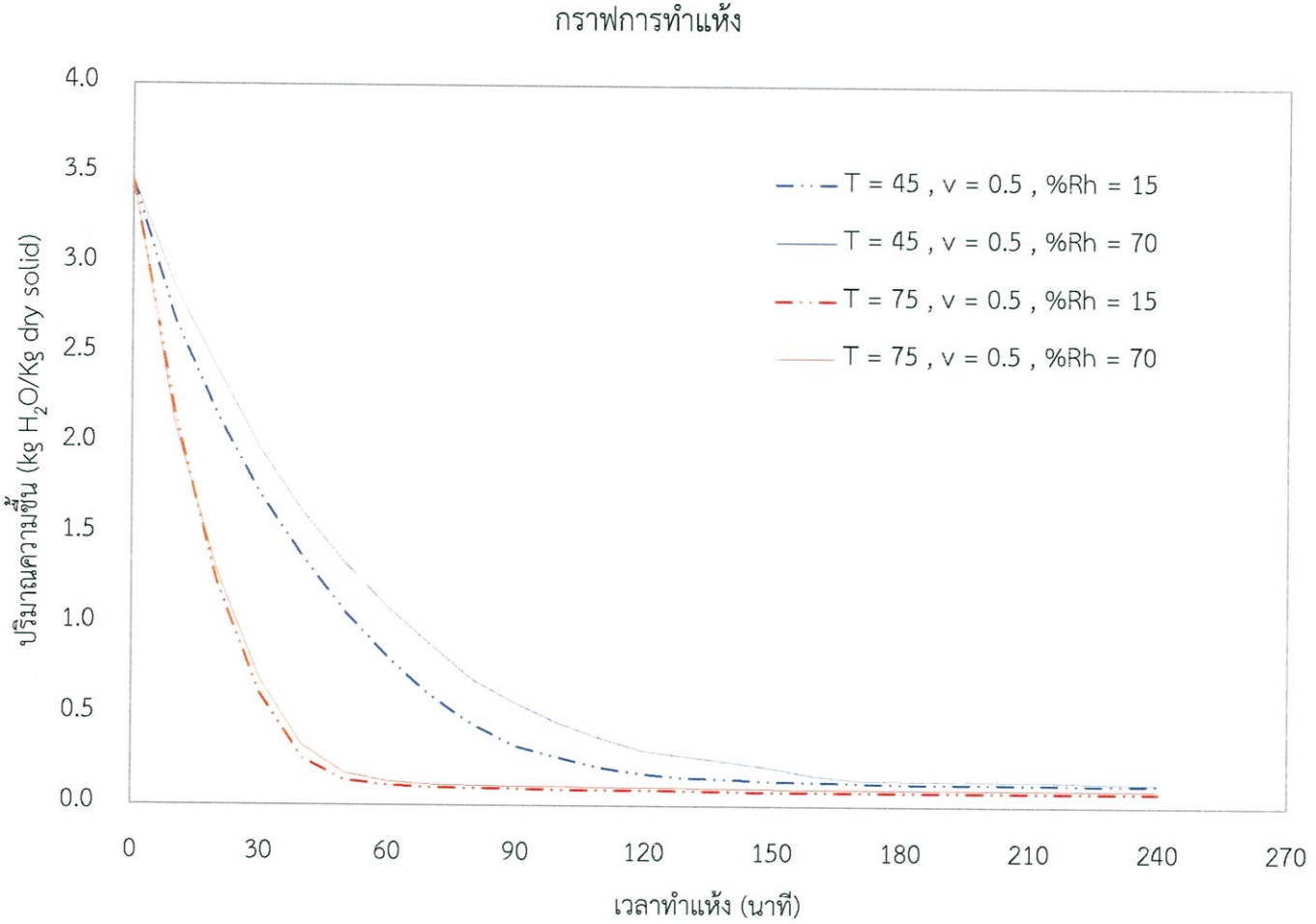
การทำแห้งข่าด้วยเครื่องอบแบบถาดที่อุณหภูมิในการทดลองคือ 45 และ 75 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 และ 0.5 เมตรต่อวินาที และความชื้นสัมพัทธ์อากาศร้อยละ 15 และ 70 พบว่า ที่อุณหภูมิและความเร็วลมสูงมีการทำแห้งดีกว่า แสดงกราฟการทำแห้งดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงทำให้น้ำระเหยได้เร็ว และความเร็วลมที่สูงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและความชื้นได้ดี ช่วยพัดพาความชื้นที่ระเหยจากผลิตภัณฑ์ออกจากเครื่องอบแห้งได้เร็ว ส่งผลให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกสู่ภายนอกได้มากขึ้น ส่วนความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ต่ำทำให้การทำแห้งดีขึ้นมากที่อุณหภูมิต่ำ แสดงกราฟการทำแห้งดังรูปที่ 4.3 เนื่องจากน้ำมีการแพร่ออกอย่างช้าๆ น้ำเคลื่อนจากภายในออกมายังผิวอย่างสม่ำเสมอ และมีปริมาณน้ำในอากาศต่ำส่งผลให้น้ำในผลิตภัณฑ์สามารถระเหยออกได้มากขึ้น



รูปที่ 4.1 กราฟการทำแห้งของการทำแห้งข่าด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่สภาวะต่างๆ



รูปที่ 4.2 กราฟการทำแห้งของข่าด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่ความเร็วลมต่างๆ



รูปที่ 4.3 กราฟการทำแห้งของข่าด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่างๆ

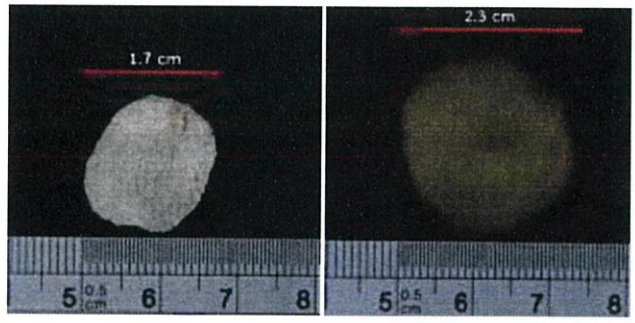
4.2 ผลของสภาวะในการทำแห้งต่อลักษณะทางกายภาพของข่า

4.2.1 อัตราการคืนตัว

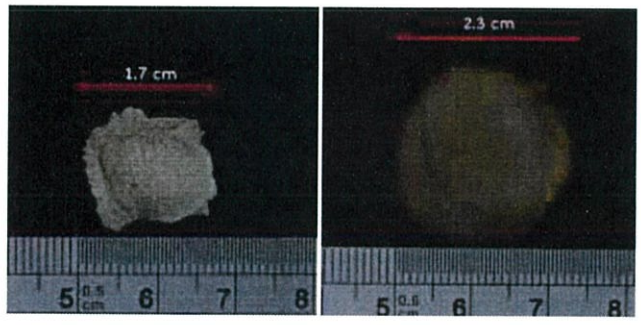
อัตราการคืนตัวของข่าที่สภาวะการทดลองต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า ที่ระยะเวลาการทำแห้ง ความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์อากาศเท่ากัน อุณหภูมิการทำแห้งจะมีผลต่ออัตราการคืนตัวของข่า ที่อุณหภูมิสูงจะมีอัตราการคืนตัวสูง เนื่องจากอุณหภูมิสูงทำให้น้ำในข่าระเหยออกได้มาก ปริมาณน้ำที่อยู่ภายในข่ามีค่าน้อย จึงดูดน้ำกลับได้ในปริมาณที่สูงกว่าการทำแห้งข่าที่อุณหภูมิต่ำ ต่ำ และข่าหลังการดูดน้ำกลับที่อุณหภูมิสูงมีสีคล้ำกว่าและเกิดรอยไหม้เป็นจุดๆ แสดงดังรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.1 แสดงอัตราการคืนตัวของข่าทำแห้งที่สภาวะต่างๆ

สภาวะการทำแห้ง			อัตราการคืนตัว
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	**ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)**	**ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)**	
45	0.25	15	3.52
		70	3.40
	0.5	15	3.42
		70	3.33
75	0.25	15	3.68
		70	3.59
	0.5	15	3.75
		70	3.83



(ก)

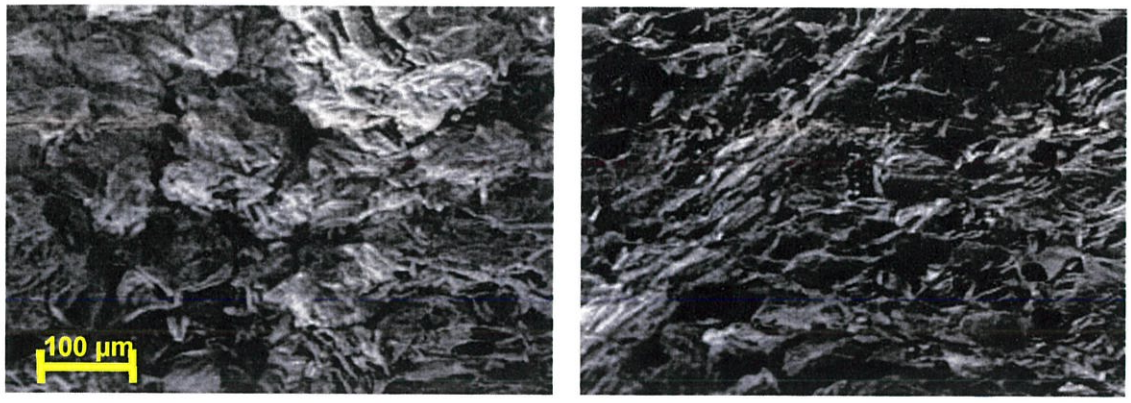


(ข)

รูปที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของข่าทำแห้งก่อน-หลังดูดน้ำกลับ
(ก) อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 15
(ข) อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 15

4.2.2 โครงสร้างจุลภาคของข่าทำแห้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

โครงสร้างจุลภาคของข่าทำแห้งที่กำลังขยาย 100และ 500เท่า แสดงดังรูปภาพที่4.5 และรูปที่ 4.6 พบว่า ที่ระยะเวลาการทำแห้งที่เท่ากัน อุณหภูมิการทำแห้งมีผลต่อโครงสร้างจุลภาคของข่าและปริมาณสารสำคัญ การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงโครงสร้างจุลภาคของข่าจะมีจำนวนรูพรุนมาก ทำให้น้ำระเหยออกมาเร็วกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับความสามารถในการดูดน้ำกลับ ถ้าโครงสร้างที่มีจำนวนรูพรุนมากจะมีความสามารถในการดูดน้ำกลับมากหรืออัตราการคืนตัวสูง แต่การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงโครงสร้างเซลล์ถูกทำลายมาก ทำให้เหลือปริมาณสารสำคัญน้อยกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

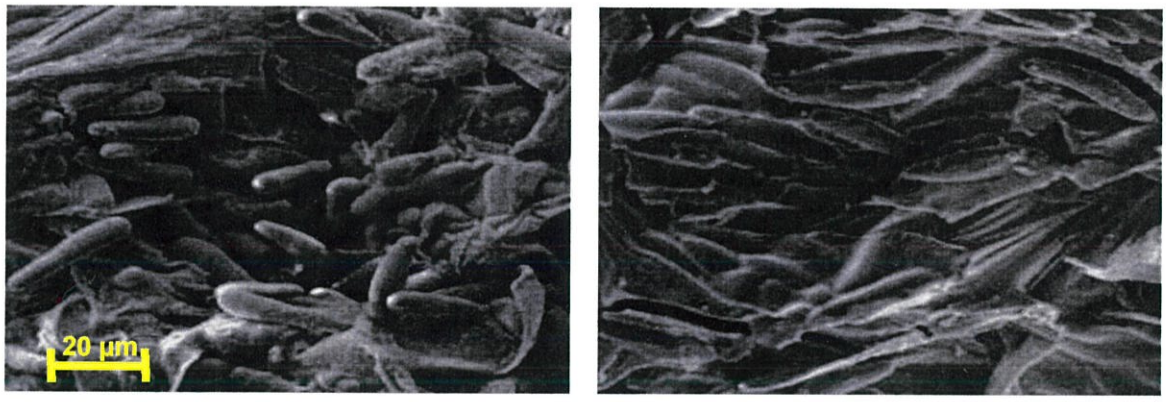


(ก) (ข)

รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของข่าทำแห้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 100เท่า

(ก) อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75

(ข) อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75



(ก) (ข)

รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของข่าทำแห้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 500เท่า

(ก) อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75

(ข) อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงสี

การเปลี่ยนแปลงของสีของข่าที่สภาวะต่างๆ แสดงในตารางที่4.2 พบว่าข่าหลังทำแห้งจะให้ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองที่สูงขึ้น ที่สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิสูง ความเร็วลมต่ำ ความชื้นสูง จะให้ค่าความเข้ม และการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อเทียบกับข่าสดมีค่าสีที่สูงที่สุด เนื่องจากข่าสัมผัสกับอากาศร้อนและนาน จึงทำให้เกิด non-enzymatic browning reaction ข่าจึงมีสีคล้ำกว่าข่าที่ทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ความเร็วลมสูง และความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่ำ

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าจากการวัดสีของข่าอบแห้งที่สภาวะต่างๆ

สภาวะการทำแห้ง			ค่าการวัดสี				
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	L*	a*	b*	C_0	ΔE
45	0.25	15	82.66	7.67	22.53	23.79	30.60
		70	79.62	8.25	24.28	25.64	28.67
	0.5	15	85.67	4.24	18.31	18.79	25.28
		70	85.07	5.33	19.99	20.69	28.36
75	0.25	15	78.84	3.91	23.47	23.79	33.42
		70	81.29	6.94	24.27	25.24	33.22
	0.5	15	74.96	8.35	24.79	26.16	24.98
		70	80.30	4.73	20.18	20.73	27.27

หมายเหตุ [15]

L*(ข่าสด) = 54.54, a*(ข่าสด) = 3.14, b*(ข่าสด) = 11.36

ค่าสีL* คือค่าแสดงความสว่างของสีมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100

กรณีถ้าL* มีค่าเป็น 0 หมายถึงมืด (darkness) แต่ถ้ามีค่าเป็น 100 หมายถึง สว่าง (lightness)

ค่าสีa* คือแสดงความเป็นสีแดงและเขียว (redness/greenness)

กรณีถ้าa* มีค่าเป็นบวกหมายถึงสีแดง และกรณีถ้าa* มีค่าเป็นลบ หมายถึง สีเขียว

ค่าสีb* คือแสดงความเป็นสีเหลืองและน้ำเงิน (yellowness/blueness)

กรณีถ้าb* มีค่าเป็นบวก หมายถึง สีเหลือง และกรณีถ้าb* มีค่าเป็นลบ หมายถึง สีน้ำเงิน

ΔE คือ ค่าความแตกต่างของสีโดยรวม

4.3 ผลของสภาวะในการทำแห้งต่อปริมาณสารสำคัญของข่า

ในการทดลองวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญต่างๆที่คงเหลือในข่าทำแห้ง ได้แก่ ปริมาณสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และปริมาณสารACA ข่าทำแห้งที่นำมาวิเคราะห์จะสามารถเก็บได้นานโดยที่ไม่มีการเจริญเติบโตเชื้อรา จะต้องมีค่าแอคทิวิตี้ของน้ำต่ำกว่า 0.6 หรือมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 30 ดังแสดงวิธีการทดลองในภาคผนวก ข สามารถหาเวลาที่เหมาะสมในการเก็บข่ามาวิเคราะห์สารสำคัญได้จากกราฟการทำแห้ง ดังรูปที่ 4.1 พบว่า ทุกสภาวะการทดลองจะมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 30 เมื่อทำแห้งเป็นเวลาอย่างน้อย 3 ชั่วโมง จึงนำข่าที่ทำแห้งเป็นเวลา 3 ชั่วโมงมาทำการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญ ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญของข่าแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่า การทำแห้งที่อุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำทำให้ข่ามีปริมาณสาระสำคัญคงเหลือมากกว่า เนื่องจากโครงสร้างเซลล์ถูกทำลายน้อย

ตารางที่ 4.3 ปริมาณสารสำคัญในข่าทำแห้งเป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่สภาวะต่างๆ

สภาวะการทำแห้ง			ปริมาณสารสำคัญ		
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%Rh)	การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (ร้อยละ)	สารประกอบฟีนอลทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อกรัม)	สารACA (ไมโครกรัมต่อกรัม)
45	0.25	15	79.17	914	4,053
		70	65.65	854	2,859
	0.5	15	51.74	627	2,129
		70	35.58	433	1,538
75	0.25	15	53.11	683	2,382
		70	51.81	556	1,513
	0.5	15	43.83	540	1,762
		70	50.22	553	1,692

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่สภาวะต่างๆ สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งข่าด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดคือ อุณหภูมิต่ำ ความเร็วลมต่ำ และความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่ำ เนื่องจากโครงสร้างเซลล์ของข่าทำแห้งถูกทำลายน้อย พื้นผิวหดตัวน้อย มีรูพรุน มีความสามารถในดูดน้ำกลับหรืออัตราการคืนตัวที่ดี ค่าความแตกต่างของสีต่ำเมื่อเทียบกับการทำแห้งที่อุณหภูมิสูง และข่าทำแห้งยังมีปริมาณสารสำคัญคงเหลือสูงสุด

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

1. การทำแห้งเกิดจากการแพร่ของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์โดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศระหว่างผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อมเป็นแรงขับเคลื่อน ส่วนลมช่วยทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและความชื้นในผลิตภัณฑ์ได้ดีขึ้น โดยที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ความเร็วลมต่ำ และความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่ำ น้ำภายในผลิตภัณฑ์แพร่ออกมายังผิวอย่างสม่ำเสมอ มีอัตราการระเหยช้า และน้ำในอากาศมีปริมาณต่ำส่งผลให้น้ำภายในผลิตภัณฑ์ระเหยออกได้มากขึ้น

2. อัตราการคืนตัวของข่าที่สูง เนื่องจากโครงสร้างข่ามีรูพรุนมาก ทำให้ข่าอบแห้งดูดน้ำกลับได้มาก

3. การทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำมีการหดตัวน้อย และปริมาณสารสำคัญต่างๆคงเหลือสูง เนื่องจากโครงสร้างเซลล์ของข่าถูกทำลายน้อย

4. ค่าความแตกต่างของสีที่เกิดขึ้น เนื่องจากข่าสัมผัสกับอากาศร้อน ใช้เวลาอบนาน ทำให้เกิด non-enzymatic browning reaction ข่าจึงมีสีคล้ำทุกสภาวะการทดลอง

ภาคผนวก ก

ข้อมูลดิบ

ตารางที่ ก.1 แสดงน้ำหนักข่าหลังการทดลองทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดที่เวลาและสภาวะต่างๆ

เวลา (นาที)	น้ำหนักข่า (g)								
	ความเร็วลม 0.25 m/s				ความเร็วลม 0.5 m/s				ความเร็วลม 1.5 m/s
	15 %RH		70 %RH		15 %RH		70 %RH		
	45 °C	75 °C	45 °C	75 °C	45 °C	75 °C	45 °C	75 °C	75 °C
0	10.44	10.31	10.03	10.30	10.16	10.27	10.68	10.75	14.30
10	9.10	8.02	8.90	7.86	8.00	7.38	9.27	7.51	8.65
20	8.18	6.45	7.94	6.29	7.29	5.28	8.19	5.51	6.50
30	7.41	5.25	7.21	5.14	6.34	3.91	7.15	4.08	5.01
40	6.74	4.36	6.51	4.25	5.57	3.11	6.33	3.20	4.20
50	6.18	3.60	5.86	3.66	4.89	2.84	5.65	2.83	4.04
60	5.64	3.06	5.36	3.27	4.39	2.78	5.07	2.72	4.01
70	5.19	2.81	4.86	3.08	3.88	2.75	4.58	2.68	3.97
80	4.80	2.70	4.47	3.02	3.52	2.74	4.12	-	3.94
90	4.48	2.67	4.09	2.99	3.26	2.73	3.82	2.66	3.92
100	4.23	2.65	3.81	2.97	3.13	2.73	3.56	-	-
110	4.03	2.65	3.57	2.95	3.01	2.73	3.36	-	-
120	3.85	2.64	3.35	2.95	2.93	2.72	3.20	2.66	3.91
130	3.70	-	3.22	-	2.89	-	3.06	-	-
140	3.57	-	3.11	-	2.87	-	2.98	-	-
150	3.49	2.62	3.03	2.93	2.84	2.71	2.92	2.65	3.90
160	3.41	-	2.98	-	-	-	2.88	-	-
170	3.38	-	2.94	-	-	-	2.83	-	
180	3.35	2.62	2.90	2.93	2.82	2.71	2.82	2.65	3.88
190	-	-	2.90	-	-	-	-	-	-
210	3.31	-	2.88	-	-	-	2.79	-	3.88
240	3.29	2.61	2.88	-	2.81	2.71	2.78	-	-
270	3.28	-	2.87	-	-	-	-	2.64	-
300	-	2.61	2.86	2.92	2.80	2.69	2.77	-	3.88
360	3.26	2.61	2.86	-	2.79	2.69	2.77	2.64	3.87
420	3.26	2.61	2.86	2.92	2.79	2.69	2.77	2.64	3.87
480	3.26	-	2.85	-	-	-	-	-	-
A^*	3.06	2.46	2.62	2.79	2.55	2.54	2.48	2.41	3.60

A^* คือ น้ำหนักแห้งของข่า เมื่อนำไปทำแห้งต่อในตู้อบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ตารางที่ ก.2 แสดงน้ำหนักข่าในการดูดน้ำกลับ

เวลา (นาที)	น้ำหนักหลังจากการดูดน้ำกลับที่สภาวะต่างๆ (กรัม)							
	45 องศาเซลเซียส				75 องศาเซลเซียส			
	0.25 เมตรต่อวินาที		0.5 เมตรต่อวินาที		0.25 เมตรต่อวินาที		0.5 เมตรต่อวินาที	
	10 %Rh	70 %Rh	10 %Rh	70 %Rh	10 %Rh	70 %Rh	10 %Rh	70 %Rh
0	0.98	0.92	0.98	0.90	0.83	0.93	0.77	0.93
5	3.08	2.78	2.89	2.74	2.89	3.43	2.47	2.97
10	3.52	3.19	3.33	3.00	3.16	3.44	2.66	3.43
15	3.44	3.17	3.39	3.00	3.15	3.53	2.70	3.51
20	3.36	3.14	3.41	3.00	3.12	3.54	2.73	3.38
25	3.45	3.13	3.34	3.00	3.11	3.56	2.75	3.35
30	3.45	3.13	3.35	3.00	3.11	3.56	2.83	3.34

ภาคผนวก ข

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอคทิวิตี้ของน้ำและปริมาณความชื้น

ข.1 วิธีการทำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอคทิวิตี้ของน้ำและปริมาณความชื้น

1). เตรียมข่าโดยหั่นให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร และมีความหนา 2 มิลลิเมตร นำไปอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 60 และ 120 องศาเซลเซียสและเก็บที่เวลาต่างๆกัน แสดงสภาวะการอบแห้งในตารางที่ ข.1

2) ชั่งน้ำหนักข่าก่อนและหลังการอบที่สภาวะต่างๆ แล้วนำข่าอบแห้งไปวัดค่าแอคทิวิตี้ของน้ำด้วยเครื่องวัด แสดงผลในตารางที่ ข.1

3). คำนวณปริมาณความชื้นหลังการทดลองอบแห้ง จากสมการที่ 2.1

3.1 ทำการทดลองอบข่าที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากน้ำหนักเริ่มต้น 14.33 กรัม พบว่าได้น้ำหนักแห้งของข่าเท่ากับ 3.61

$$\text{Moisture content}\left(X_t\right) = \frac{W - W_s}{W_s}$$

$$= \frac{14.33 - 3.61}{3.61}$$

$$X_t = 2.97 \frac{\text{g } H_2O}{\text{g dry solid}}$$

3.2 ทำการทดลองอบข่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากน้ำหนักเริ่มต้น 14.79 กรัม พบว่าได้น้ำหนักหลังอบเท่ากับ 8.15 โดยคำนวณหาน้ำหนักแห้งที่สภาวะต่างๆคิดจากปริมาณความชื้นเริ่มต้นเท่ากับข่าอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เท่ากับ $2.97 \frac{\text{g } H_2O}{\text{g dry solid}}$

คำนวณหาน้ำหนักแห้ง (W_s)

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s} \times 100\%$$

$$W_s = \frac{W}{(X_t + 1)}$$

$$W_s = \frac{14.79}{(2.97 + 1)} = 3.725 \text{ g}$$

คำนวณหาปริมาณความชื้น (X_t)

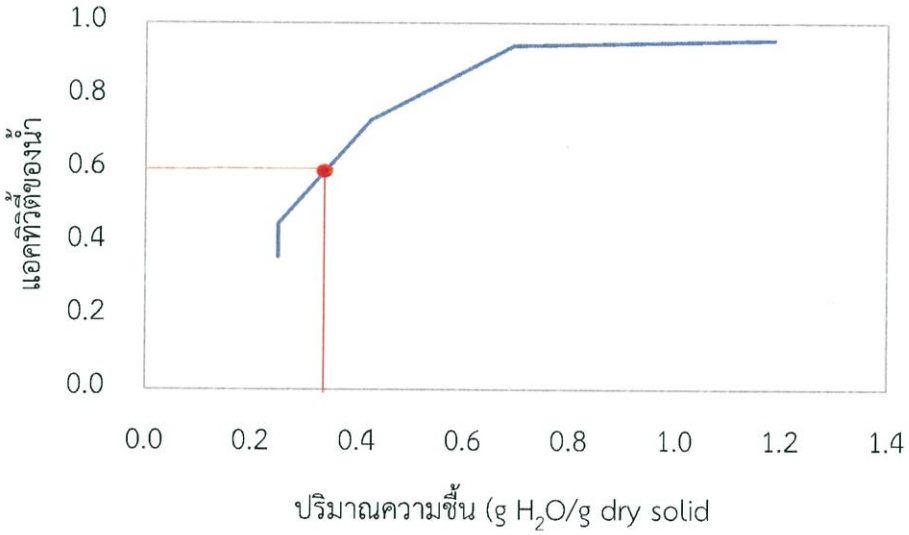
$$X_t = \frac{8.15 - 3.725}{3.725} \times 100\% = 1.187 \frac{g\ H_2O}{g\ dry\ solid}$$

คำนวณหาปริมาณความชื้นของสภาวะอื่นๆเช่นเดียวกันจะได้ค่าปริมาณความชื้นแสดงในตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 แสดงสภาวะการอบแห้ง น้ำหนัก ค่าแอคทิวิตี้ของน้ำและปริมาณความชื้นของข่าจากการทดลองอบแห้งด้วยตู้อบ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักหลังอบ (กรัม)	ค่าแอคทิวิตี้ของน้ำ	ปริมาณความชื้น $\left(\frac{g\ H_2O}{g\ dry\ solid}\right)$
60	3	14.30	9.38	-	1.6038
	4	14.79	8.15	0.954	1.1874
	5	12.91	5.56	-	0.7096
	6	13.63	5.82	0.938	0.6950
	7	14.30	5.14	0.737	0.4268
	8	14.46	4.56	0.451	0.2518
120	24	14.33	3.61	0.301	2.9695

4). สร้างกราฟระหว่างปริมาณความชื้น (แกน X) กับ แอคทิวิตี้ของน้ำ (แกน Y)



รูปที่ ข.1 กราฟระหว่างปริมาณความชื้นกับแอคทิวิตี้ของน้ำ

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ที่ค่าแอคทิวิตี้ของน้ำเท่ากับ 0.6 จะมีค่าปริมาณความชื้นเท่ากับ 0.3 ซึ่งสามารถป้องกันการเกิดเชื้อราชนิดทนแห้งได้ดี ดังนั้น ในการทำการทดลองจะอบแห้งข่าจนกระทั่งมีค่าปริมาณความชื้นต่ำกว่า 0.3 แล้วจึงเก็บตัวอย่างข่าไปทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีต่อไป

ภาคผนวก ค

การคำนวณในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของข่า

1. อัตราส่วนการคืนตัว

$$\text{อัตราส่วนการคืนตัว} = \frac{\text{น้ำหนักข่าหลังการดูดน้ำกลับ}}{\text{น้ำหนักข่าแห้ง}}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

น้ำหนักข่าแห้งเริ่มต้นเท่ากับ 0.98 กรัม และน้ำหนักข่าหลังดูดน้ำกลับที่เวลา 5 นาที เท่ากับ 2.89 กรัม

$$\text{อัตราส่วนการคืนตัว} = \frac{2.89}{0.98} = 2.95$$

2. ค่าความแตกต่างของสี

ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ความเร็วลมต่ำ ความชื้นต่ำ

คำนวณหาค่า chroma (C_o) แสดงถึงค่าความเข้ม โดยคำนวณจาก

$C_o = (a^{*2}+b^{*2})^{1/2} = (7.67^2+22.53^2)^{1/2} = 23.80$

ค่า Hue (h_o) ซึ่งคำนวณจาก

$h_o = \tan^{-1}(b^*/ a^*) = \tan^{-1}(22.53/ 7.67)$

คำนวณค่าความแตกต่างของสี (ΔE) คำนวณจาก

$\Delta E = (\Delta L^{*2}+\Delta a^{*2}+\Delta b^{*2})^{1/2} = (-28.12)^2+(-4.53)^2+(-11.17)^2)^{1/2} = 30.59$

เมื่อ ความแตกต่างของค่าสว่าง (L*) คำนวณจาก ΔL^* = L*(ข่าสด)- L*(ข่าที่สภาวะต่างๆ)

ความแตกต่างของค่าสีแดง (a*) คำนวณจาก Δa^* = a*(ข่าสด)- a*(ข่าที่สภาวะต่างๆ)

ความแตกต่างของค่าสีเหลือง (b*) คำนวณจาก Δb^* = b*(ข่าสด- b*(ข่าที่สภาวะต่างๆ)

L*(ข่าสด) = 54.54, a*(ข่าสด) = 3.14, b*(ข่าสด) = 11.36

3. ค่าการต่อต้านอนุมูลอิสระ

คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (%Radical Scavenging)

จาก $$\%\text{Radical Scavenging} = \left[\frac{(AB - AA)}{AB}\right] \times 100$$

เมื่อ AA และ AB คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารตัวอย่างผสมกับDPPH และสารละลาย DPPH ตามลำดับ

ตัวอย่างการคำนวณ

สารสกัดข่าอบแห้งที่ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 15% วัดค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยได้เท่ากับ 0.216

สารละลาย DPPH วัดค่าการดูดกลืนแสงได้เท่ากับ 1.037

$$\%\text{Radical Scavenging} = \left[\frac{(1.037 - 0.216)}{1.037}\right] \times 100 = 79.17\%$$

4. ค่า Total Phenolic Compound

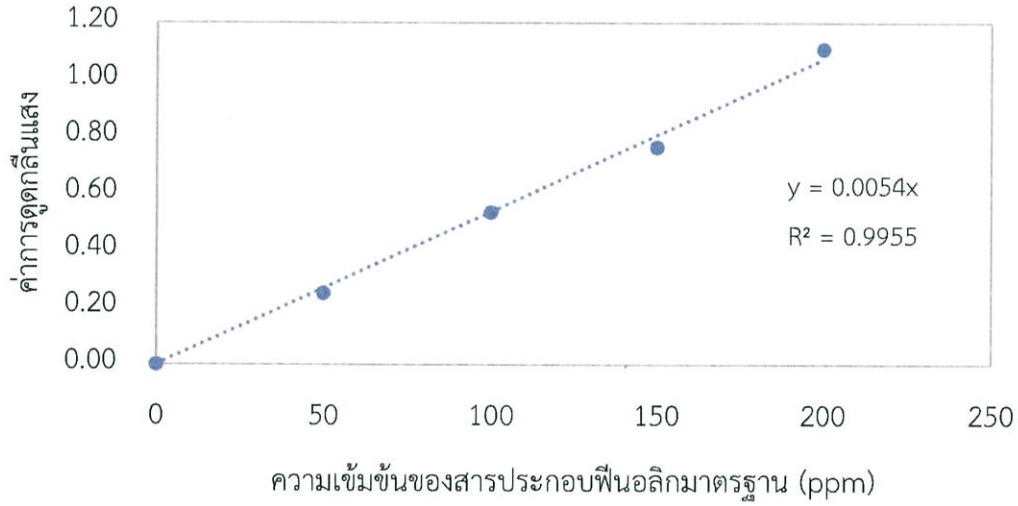
วิธีการสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์หา Total Phenolic Compound [6]

1). เตรียมสารละลายกรดแกลลิค ความเข้มข้น 250 ppm โดยชั่งกรดแกลลิค 25 มิลลิกรัม ละลายในเอทานอลเข้มข้น 95% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2). นำสารละลายกรดแกลลิค ความเข้มข้น 250 ppm มาเจือจางให้ได้ความเข้มข้นเป็น 50 100 150 และ 200 ppm

3). นำตัวอย่างมา 0.5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 3 มิลลิลิตรเติมสารละลาย Folin-Ciocalteau reagent ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต เข้มข้น 10% ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 90 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 760 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายฟีนอลิกมาตรฐาน ความเข้มข้น 0 mg/l เป็นสารเปรียบเทียบ (blank)

4). สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลิกมาตรฐาน (แกน X) กับค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y) แสดงดังรูปที่ ค.1



รูปที่ ค.1 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นสารฟีนอลิกมาตรฐาน

จากกราฟจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นสารฟีนอลิกมาตรฐาน สามารถหา ปริมาณTotal Phenolic Compound ในสารสกัดได้จาก

$$X = \frac{y}{0.0054} \times \text{Dilution factor}$$

เมื่อ X คือ ปริมาณTotal Phenolic Compound ในสารสกัด และ Y คือ ค่าการดูดกลืนแสง

ตัวอย่างการคำนวณ

สารสกัดข่าอบแห้งที่ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 15% วัดค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยได้เท่ากับ 0.987

$$\text{Dilution factor} = \frac{\text{ปริมาณสารสกัด}(\text{ml})}{\text{น้ำหนักแห้ง}(\text{g})} = \frac{0.5\ \text{ml}}{0.1\,\text{g}} = 5$$

$$\text{ปริมาณTotal Phenolic Compound} = \frac{0.987}{0.0054} \times 5 = 914 \text{ ไมโครกรัมต่อกรัม}$$

4. ค่าปริมาณสารACA

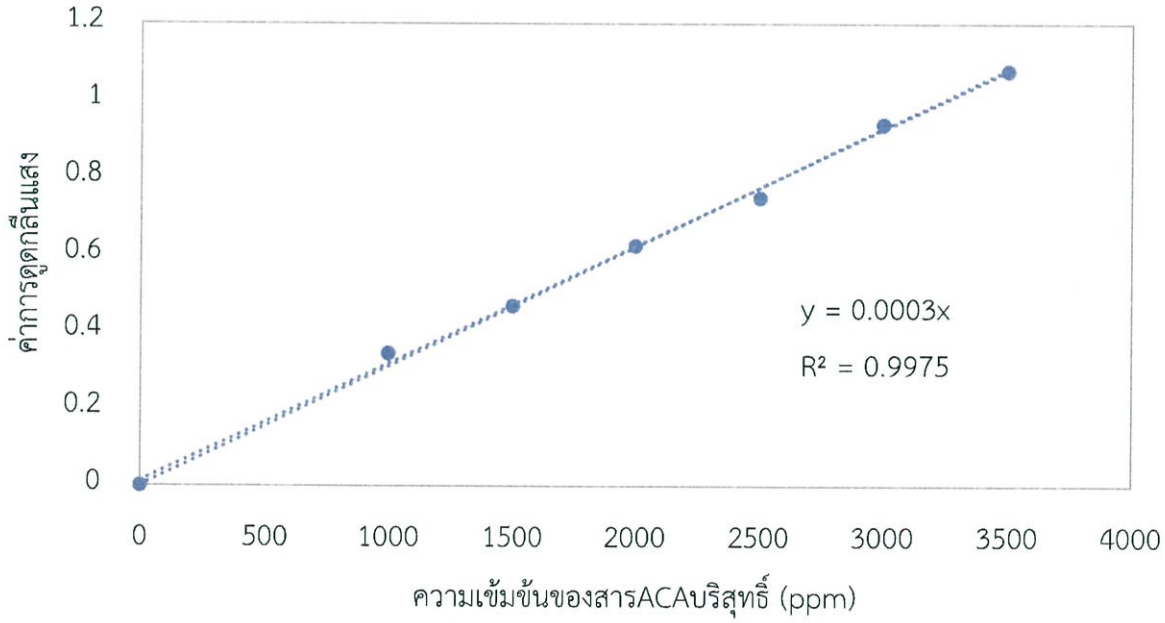
วิธีการสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณสารACA

1). เตรียมสารละลายACA ความเข้มข้น 5,000 ppm โดยดูดสารACAบริสุทธิ์ปริมาตร 0.02 มิลลิลิตร ละลายในเอทานอลเข้มข้น 95% ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

2). นำสารละลายACAบริสุทธิ์ความเข้มข้น 5,000 ppm มาเจือจางให้ได้ความเข้มข้นเป็น 1,000 1,500 2,000 2,500 3,000 3,500 4,000 และ 4,500 ppm

3). นำสารละลายACAบริสุทธิ์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เติมเอทานอลเข้มข้น 95% ปริมาตร 9.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 234 นาโนเมตร โดยใช้เอทานอลเข้มข้น 95% เป็นสารเปรียบเทียบ (blank)

4). สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารACAบริสุทธิ์ (แกน X) กับค่าการดูดกลืนแสง (แกน Y) แสดงดังรูปที่ ค.2



รูปที่ ค.2 กราฟมาตรฐานแสดงความเข้มข้นของสารACAบริสุทธิ์กับค่าการดูดกลืนแสง

จากกราฟจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารACAบริสุทธิ์กับค่าการดูดกลืนแสง สามารหาปริมาณสารACAในสารสกัดได้จาก $X = \frac{y}{0.0003}$

เมื่อ X คือ ปริมาณสารACA ในสารสกัด และ Y คือ ค่าการดูดกลืนแสง

ตัวอย่างการคำนวณ

สารสกัดข่าอบแห้งที่ความเร็วลม 0.25 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 15% วัดค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยได้เท่ากับ 0.639

ปริมาณปริมาณสารACA = $\frac{0.639}{0.0003}$ = 4,053 ไมโครกรัมต่อกรัม

ภาคผนวก ง

ชุดการทดลองอบแห้ง

1. ข้อมูลเครื่องอบแห้งแบบถาด

ความกว้างภายในเครื่องอบแห้ง	8	เซนติเมตร
ความยาวภายในเครื่องอบแห้ง	14	เซนติเมตร
ผ่านศูนย์กลางของท่อภายใน	5	เซนติเมตร

กำเนิดอากาศ: เครื่องอัดอากาศ สำหรับอากาศความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 15 (ความชื้นต่ำ)
เครื่องเป่าลม สำหรับอากาศความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 (ความชื้นสูง)
ฮีตเตอร์แบบครีบ กำลัง 3000 วัตต์
เทอร์โมมิเตอร์
เครื่องวัดความเร็วลม

2. การคำนวณความเร็วของลมร้อนในท่อ

$$A_{ท่อ}v_{ท่อ} = A_{เครื่องอบ}v_{เครื่องอบ}$$

- ความเร็วของอากาศร้อนในเครื่องอบ 0.25 เมตรต่อวินาที

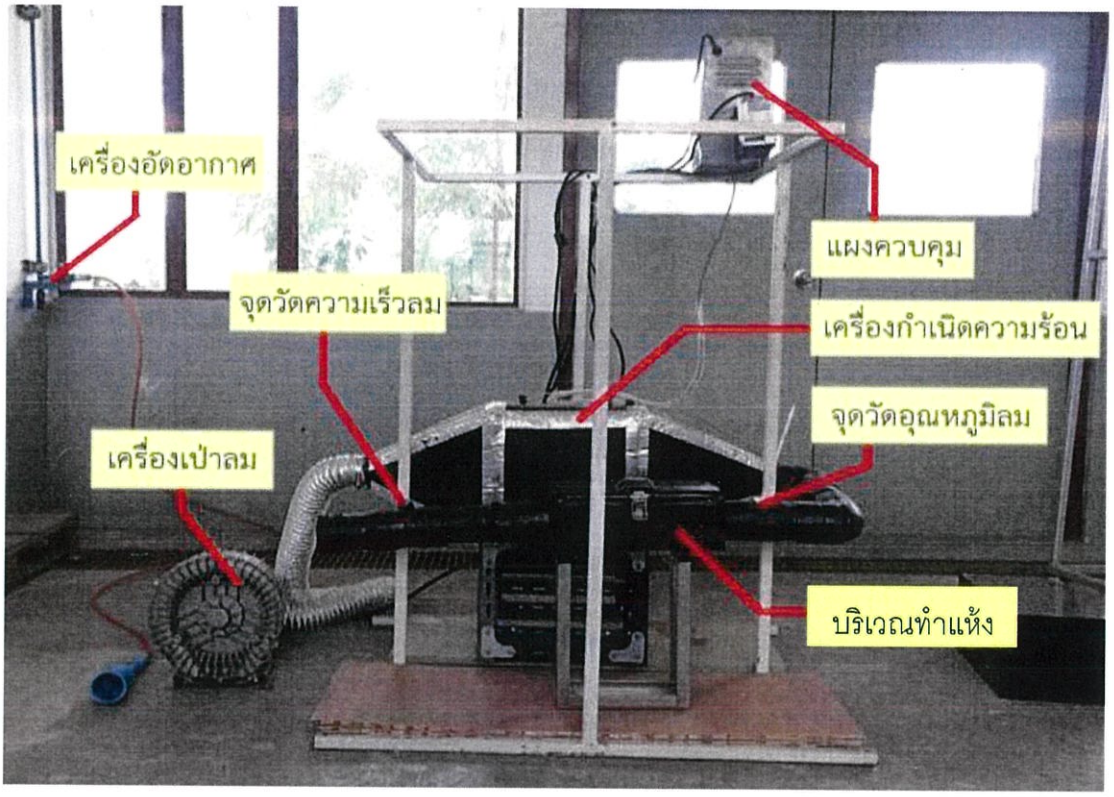
$$\pi(2.25\ cm)^2 x(v_{ท่อ}) = (8\ cm)x(14\ cm)x(0.25\frac{m}{s})$$

$$v_{ท่อ} = 1.76\frac{m}{s}$$

- ความเร็วของอากาศร้อนในเครื่องอบ 0.50 เมตรต่อวินาที

$$\pi(2.25\ cm)^2 x(v_{ท่อ}) = (8\ cm)x(14\ cm)x(0.5\frac{m}{s})$$

$$v_{ท่อ} = 3.52\frac{m}{s}$$



รูปที่ ง.1 ชุดการทดลองทำแห้ง

อ้างอิง

[1] Prinya Wongsa, Jiranun Chiwarit, Anis Zamaludien. "In vitro screening of phenolic compounds, potential inhibition against alpha-amylase and alpha-glucosidase of culinary herbs in Thailand (2012)." Journal of food technology program. 131(2012), 964-971.

[2] T.Juntachote, E.Berghofer, S.Siebenhandl, F.Bauer. "The effect of dried galangal powder and it ethanolic extracts in oxidative stability in cooked ground pork (2005)." Journal of food science and Technology. 40(2007), 324-330

[3] T.Juntachote, E.Berghofer, S.Siebenhandl, F.Bauer. "The antioxidative properties of Holy basil and Galangal in cooked ground pork (2005)." Journal of food science and Technology. 72(2007), 446-456.

[4] อิทธิพลของพื้นที่ปลูกและอายุของไรโซมต่อความผันแปรของปริมาณสาร 1' -Acetoxychavicol Acetate (ACA) ภายในไรโซมข่า. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

[5] Nopparat Mahea and Siree Chaiser. Antioxidant Activities and Antioxidative Components in Extracts of Alpinia galaga (L.) Sw. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 43 : 358-369 (2009).

[6] ปภาวดี แท่นทองและพิทยา อังคณากุลชัย. "การอบแห้งผลหม่อนด้วยเครื่องอบแห้งอุณหภูมิต่ำ." ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 2556.

[7] ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล. เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน : การนำมาใช้เพื่อถนอม ผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อน. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 35 ฉบับที่2 เมษายน-มิถุนายน 2555.

[8] ข่า เข้าถึงได้จาก :http://www.medplant.mahidol.ac.th/pubhealth/alpinia.html

[9] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนาปนนท์. Antioxidant/ สารต้านออกซิเดชัน.(ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก

:http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0188/antioxidant-สารต้านออกซิเดชัน

[11] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนาปนนท์. Phenolic compounds/สารประกอบฟีนอล.(ออนไลน์).เข้าถึงได้จาก
:http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2585/phenolic-compound

[12] ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงศ์อมร บุนนาค. การใช้ยาลดระดับน้ำตาลชนิดรับประทาน. เข้าถึงได้จาก

[14] หัสวิภา หมายมั่น. 2555. Scaning Electron Microscope : SEM. เข้าถึงได้จาก :http://www.mfu.ac.th/center/stic/index.php/micro-analysis-instrument-menu/item/96-scaning-electron-microscrope.html

[13] พรพิมล เทพบรรทมและสิริมา ชินสาร. ผลของการอบแห้งแบบขั้นตอนเดียวและสองขั้นตอนต่อคุณภาพของใบมะกรูดและตะไคร้. 2550.

[15] นันทวัน เทอดไทย และสุพิชา กระจ่างเมธีกุล. ผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งแบบลมร้อนต่อคุณภาพของฟักทองอบแห้ง. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[16] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนาปนนท์. DPPH assay / การวิเคราะห์การเป็นสารต้านออกซิเดชัน.(ออนไลน์).
เข้าถึงได้จาก :http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3200/dpph-assay-การวิเคราะห์การเป็นสารต้านออกซิเดชั่น

[17] Pornpimon Mayachiew, Sakamon Devahastin. "Antimicrobial and antioxidant activities of Indian gooseberry and galangal extracts (2007)." Journal of food engineering. 41(2008), 1153-1159.

[18] Nopparat Mahea and Siree Chaiser. Antioxidant Activities and Antioxidative Components in Extracts of Alpinia galaga (L.) Sw. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 43 : 358-369 (2009).

[19] นิพัทธา ชาติสุวรรณ และวริพัสย์ อารีกุล. พารามิเตอร์สี ปริมาณฟี นอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโธไซยานินในข้าวสายพันธุ์ต่างๆ. คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[20] บรรลือ สังข์ทอง, กนกรัตน์ สายคง, กมลวรรณ อนะมาน, พันธวงษ์ โรจน์ธนศิริวนิช และเมธิน ผดุงกิจ(2013). ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากใบหม่อนด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง.

[21] อุไรวรรณ วัฒนกุล, วัฒนา วัฒนกุล, ธีรวุฒิ เลิศสุทธิชวาล และพีรพงษ์ พึ่งแย้ม,การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน สารประกอบฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์ในสารสกัดพืชป่าชายเลน บริเวณหาดราชมงคล จังหวัดตรัง. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 19 ประจำปี 2552.